

TRAVAIL DU LABORATOIRE DE PHYSIQUE MÉDICALE

CONTRIBUTION A L'ETUDE
DE LA PRESSION ARTERIELLE MOYENNE
(Remarques expérimentales et critiques)

THÈSE
POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE
présentée et soutenue publiquement le 18 Juin 1934

par

BARDENAT Charles

Interne des Hôpitaux
Ancien Moniteur des Travaux Pratiques de Physiologie
né le 25 Septembre 1905 à Ménerville (Alger)

MEMBRES DU JURY

M. PORTES, Professeur de Physique Médicale.....	Président
M. FOURMENT, Professeur de Matière Médicale et Pharmacologie	} Juges
M. COURRIER, Professeur d'Histologie.....	
M. BENHAMOU, Professeur Agrégé (Médecine).....	

ALGER
IMPRIMERIE MINERVA
5, Rue Clauzel, 5
1934

CONTRIBUTION A L'ETUDE

de la pression artérielle moyenne

TRAVAIL DU LABORATOIRE DE PHYSIQUE MÉDICALE

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA PRESSION ARTERIELLE MOYENNE

(Remarques expérimentales et critiques)

THÈSE
POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE
présentée et soutenue publiquement le 18 Juin 1934

par

BARDENAT Charles
Interne des Hôpitaux
Ancien Moniteur des Travaux Pratiques de Physiologie
né le 25 Septembre 1905 à Ménerville (Alger)

MEMBRES DU JURY

M. PORTES, Professeur de Physique Médicale.....	Président
M. FOURMENT, Professeur de Matière Médicale et Pharmacologie	} Juges
M. COURRIER, Professeur d'Histologie.....	
M. BENHAMOU, Professeur Agrégé (Médecine).....	

ALGER
IMPRIMERIE MINERVA
5, Rue Clauzel, 5
1934

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

DOYEN
DOYEN HONORAIRE
ASSESEUR

MM. LEBLANC (*, I. I.).
HERAIL (*, I. I.).
GILLOT (I. I.).

PROFESSEURS

Clinique ophtalmologique
Clinique médicale et Hygiène infantile ...
Clinique des maladies des pays chauds, des
maladies syphilitiques et cutanées
Clinique chirurgicale
Clinique obstétricale et puériculture du 1^{er}
âge
Clinique chirurgicale infantile et d'ortho-
pédie
Clinique médicale
Histologie et embryologie
Anatomie pathologique
Chimie biologique et médicale
Hygiène, hydrologie et climatologie
Physiologie
Pharmacie
Médecine légale
Anatomie
Microbiologie et cryptogamie
Physique médicale
Anatomie médico-chirurgicale et médecine
opératoire
Parasitologie et zoologie médicale
Chimie générale pharmaceutique et toxi-
cologie
Botanique et matière médicale
Pathologie générale et Clinique psychia-
trique
Thérapeutique

MM. N...
GILLOT (I. I.).
RAYNAUD (*, I. I.).
COSTANTINI (*, I. I.).
LAFFONT (*, I. I.).
LOMBARD (*, I. I.).
AUBRY (*, I. I.).
WEBER (*, I. I.).
POUJOL (I. I.).
MAILLARD (*, I. I.).
N...
TOURNADE (O. *, I. I.).
MUSSO (I. I.).
GIRAUD (O. *, I. I.).
LEBLANC (*, I. I.).
PINOY (*, I. I.).
PORTES (*, I. I.).
CABANES (*, I. I.).
SENEVET (*, A. I.).
WUNSCHENDORFF (I. I.).
FOURMENT (A. I. I.).
POROT (A. I.).
LEBON (*, A. I.).

PROFESSEUR SANS CHAIRE

M. COURRIER (*, A. I.), agrégé (Histologie).

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. ARGAUD (*, I. I.). MM. HERAIL (*, I. I.).

CHARGÉS DE COURS

Enseignement théorique des élèves sages-
femmes
Clinique d'oto-rhino-laryngologie

MM. FUSTER (*, I. I.).
H. ABOULKER (*, A. I.).

AGRÉGÉS

Chirurgie
Médecine
Physiologie
Anatomie
Chimie médicale
Obstétrique
Histoire naturelle pharmaceutique
Anatomie pathologique

MM. DUBOUCHER (I. I.).
FERRARI (I. I.).
MOGGI (*, I. I.).
BENHAMOU (*, I. I.).
LACROIX.
N...
RIBET (*, A. I.).
N...
HOUEL (*, A. I.).
N...
MONTPELLIER (I. I.).

AGRÉGÉ LIBRE

Physiologie M. BATTEZ.

NOTA. — La Faculté n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.



A NOTRE MAITRE ET PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE DOCTEUR PORTES

Professeur de Physique médicale,
Chevalier de la Légion d'Honneur.

*qui nous a réservé dans son laboratoire,
non seulement le secours éclairé de ses
sages conseils et l'appui matériel le plus
agissant, mais encore les précieux témoi-
gnages d'une sympathie bienveillante et
chaude, l'exemple d'une haute probité
scientifique avec la grande modestie des
vrais savants.*

A NOS JUGES :

MONSIEUR DE DOCTEUR FOURMENT

Professeur de Matière médicale et de Pharmacologie,

dont, bien avant de suivre les cours magistraux, nous avons eu l'honneur de recevoir des marques d'amical intérêt.

MONSIEUR DE DOCTEUR COURRIER

Professeur d'Histologie,
Chevalier de la Légion d'Honneur,

qui voulut bien nous admettre dès notre première année d'études dans l'intimité de son laboratoire et commença notre initiation aux attachants mystères de la Biologie.

MONSIEUR LE DOCTEUR BENHAMOU

Professeur agrégé de Médecine,
Médecin des Hôpitaux,
Chevalier de la Légion d'Honneur,

qui nous a inspiré ce travail et donné en toute circonstance le goût de la clinique précise, des idées claires et nettes. l'amour de la recherche enthousiaste et le désir d'aller de l'avant à la poursuite d'un idéal toujours renouvelé.

A MONSIEUR LE DOCTEUR TOURNADE

Professeur de Physiologie,
Membre correspondant de l'Académie de Médecine,
Officier de la Légion d'Honneur,

*qui nous fit le très grand honneur de
nous confier pendant deux ans les fonc-
tions de moniteur des Travaux pratiques
et nous permit ainsi de participer à la
vie de son laboratoire, de nous impré-
gner des principes d'une discipline par-
faite, d'une impeccable méthode.*

A MONSIEUR LE DOCTEUR HERMANN

Professeur de Physiologie à la Faculté de Lyon,
Chevalier de la Légion d'Honneur,

*qui nous apporta les premiers éléments
nécessaires à l'élaboration de cette thèse,
au Maître très estimé qui nous honora
d'une amitié affirmée en toute occasion,
ne cessa d'être pour nous un guide sûr
et affectueux.*

A NOS MAITRES DE LA FACULTÉ,

A NOS MAITRES DES HOPITAUX,

*cette thèse est dédiée en hommage
de reconnaissance et de parfait
attachement.*

INTRODUCTION

Le travail que nous présentons aujourd'hui à nos juges mériterait moins le titre de thèse que celui, plus modeste, d'essai, essai tout fragmentaire d'ailleurs, sur quelques points relatifs à la question vraiment vaste de la pression artérielle moyenne. Il ne fut pas conçu pour formuler une opinion et la défendre. Fruit d'assez longues recherches expérimentales et de compilation critique, il ne représente à nos yeux qu'une tentative — peut-être téméraire — pour classer des faits relativement peu nombreux mais complexes, un effort pour essayer de les comprendre, pour découvrir le lien par lequel ils s'enchaînent.

L'intérêt suscité par la pression moyenne ne semble pas s'épuiser dans les milieux savants et les sociétés médicales. Et cependant, tout a été dit. L'édifice paraît solide. Quelques controverses à la vérité suivent encore leur cours, qui ne sauraient changer que peu de choses aux termes mêmes de l'enquête. On sera donc surpris qu'ayant voulu nous informer, comme chacun, de ce sujet, nous ayons été arrêté, dès le début de notre analyse, par des hypothèses, des théories, des affirmations qui nous parurent gratuites, et qu'un certain nombre de questions simples qu'il importait de nous poser n'avaient pas leur réponse dans les textes. De là sont issus la matière et le plan de cette contribution — qui retrans-

chera sans doute plus qu'elle n'apporte — à l'étude objective de la pression moyenne.

*
* *

Avec Marey et plus tard Pachon, cette notion a d'éminents parrains. Mais ce sont les travaux de Vaquez et de son école qui lui ont valu en ces dernières années son extraordinaire faveur. Au demeurant, plusieurs raisons expliquent le vif accueil réservé par la Médecine moderne à cette donnée nouvellement reprise de pression moyenne du sang dans les artères.

C'est une tendance des temps actuels de faire aux méthodes scientifiques une part de plus en plus grande dans l'observation des phénomènes biologiques en général et, partant, dans l'appréciation des éléments morbides capables de conduire au diagnostic. En cet ordre d'idées, il faut bien avouer que le repérage des pressions maxima et minima, quelle que soit la lumière qu'il jette sur la pathologie du cœur et des vaisseaux, se montre parfois bien insuffisant à éclaircir certains problèmes que posent nos connaissances plus approfondies de la dynamique circulatoire. Outre que les critères servant à déterminer la maxima et la minima sont encore discutés par quelques-uns et présentent assez souvent certaines difficultés d'application, il est évident que ces deux valeurs traduisent seulement les vues instantanées des deux moments extrêmes de cette grandeur essentiellement variable qu'est la pression du sang dans les vaisseaux artériels. Tôt ou tard, pour traiter des questions cardio-vasculaires sur le plan dynamique qu'il convient, pour évaluer l'énergie dépensée par le moteur cardiaque, pour apprécier sa puissance et son rendement, pour se faire également une idée des conditions hydrauliques du réseau dans lequel il débite, il

devait venir à l'esprit d'essayer d'atteindre et de fixer par un chiffre une notion particulière qui permît de les aborder simplement.

Il n'est pas superflu de faire aussi sa part à l'attrait de la nouveauté, au souci du dernier perfectionnement de la technique appliqué à l'exploration des fonctions de nos organes, dans les motifs qui firent éclore l'abondante littérature que nous possédons aujourd'hui sur la pression moyenne.

*

* *

Et ici, on nous permettra de remarquer qu'en telle matière l'abondance n'est pas toujours synonyme de richesse.

Sans doute, la multiplicité des écrits témoigne de l'attention qu'attachent les milieux scientifiques à l'étude d'une question; elle ne va pas sans nuire à l'intelligence du sujet.

Comme il en est souvent pour les notions très rapidement diffusées, soit que la clinique veuille devancer une théorie insuffisamment assurée, soit que la théorie prétende impunément ignorer la clinique, soit plutôt que de tous côtés on applique fort hâtivement la détermination de la pression moyenne à l'interprétation de phénomènes où elle n'a pas de part directe, faute, semble-t-il, de s'être bien entendu sur les définitions et d'avoir posé avec toute la rigueur souhaitable les bases mêmes du problème, il y règne à l'heure actuelle une certaine confusion.

Déjà il devient malaisé de remonter aux sources et de trouver les documents utiles et suffisants. Il existe sur la pression moyenne une vingtaine de notes capitales qui contiennent toute la question — tout ce qui

peut être dit de précis sur la question. La bibliographie complète dénombrerait plusieurs centaines de références.

Le mal ne serait pas grand si les transcriptions successives de la pensée originale n'en altéraient le sens. Il est certains sujets sur lesquels il ne suffit point d'avoir une opinion philosophique, mais qui exigent de celui qui les veut posséder une culture appropriée — et beaucoup de prudence. Du défaut d'éducation scientifique de quelques-uns naît l'impropriété du style qui porte en elle la cause de fâcheux contre-sens et aussi cette extraordinaire mystique du nombre, du chiffre, du cadran, de l'aiguille.

Loin de notre pensée de méconnaître combien précieuses, combien fécondes sont ces aspirations : mesurer, publier.

Mesurer, certes. Encore faut-il savoir ce que l'on mesure. Chaque fois, disait un grand esprit, qu'à une appréciation subjective se substitue un chiffre, la Science fait un pas en avant. Mais ce n'est rien d'avoir un chiffre si l'on n'est parfaitement informé de ce qu'il représente.



Nous exposerons les résultats de l'enquête que nous avons poursuivie sur la pression artérielle moyenne et les réflexions que nous ont suggéré leur acquisition selon le plan suivant.

Après un historique rapide, nous analyserons à la lumière des enseignements de la Physique et de quelques faits d'expérience les différentes définitions de la pression artérielle moyenne. La signification essentielle de cette donnée s'en déduira rigoureusement.

Puis, passant en revue les procédés qui ont été imaginés pour mesurer la pression artérielle moyenne tant au laboratoire qu'en clinique, nous réserverons un cha-

pître à l'examen plus particulier du critère par lequel l'oscillographie s'est efforcée de repérer cette grandeur.

Nous n'avons pas envisagé, dans le cadre de ce travail, l'étude des variations de la pression artérielle moyenne avec les diverses conditions physiologiques et pathologiques où son intérêt apparaît cependant immédiat. Nous croyons encore insuffisantes les observations réalisées à l'aide de techniques précises.

Nous ne ferons qu'indiquer dans quel sens et à quels objets la recherche de la pression artérielle moyenne nous semble devoir apporter en clinique des éléments d'information particulièrement utiles.

CHAPITRE PREMIER

APERÇU HISTORIQUE ET POSITION DU SUJET

Le lecteur de 1934 a déjà rencontré les principales notions chronologiques relatives à l'étude de la pression artérielle moyenne dans de nombreux ouvrages récents et sous la plume des auteurs les mieux informés.

Aussi bien ne pourrait-on rien ajouter aux excellentes relations de Mlle Hennequin (thèse 1931), de J. Barbier (Etude dynamique de la pulsation artérielle, janvier 1932) et de MM. Vaquez et De Chaisemartin (Archives de Médecine et Pharmacie militaires, février 1933).

C'est donc dans un raccourci tout schématique que nous rappellerons, en l'illustrant de quelques noms et de quelques dates, l'évolution des idées sur la pression artérielle moyenne. Elle est intimement liée aux progrès de la technique d'exploration, au développement des recherches expérimentales et de l'investigation clinique.



L'histoire de la pression artérielle moyenne (que l'on ne peut certes pas séparer de celle de la pression artérielle en général) est jalonnée par trois grands noms : Marey, Pachon, Vaquez. De là, trois périodes assez bien

limitées et qui sont caractérisées chacune par l'exploitation de faits nouveaux et de théories nouvelles.

Avant Marey, c'est l'étape d'initiation.

De Marey à Pachon, c'est la phase de développement des procédés directs d'investigation et des rivalités entre le manomètre à mercure et le manomètre métallique qui servent tous deux aux mesures immédiates de la pression artérielle.

Depuis Pachon, c'est l'ère de l'oscillométrie qui trouve près de nous un crédit justement mérité et voit successivement la discrimination de la maxima, de la minima et enfin de la notion de pression moyenne jusque là demeurée pratiquement inaccessible au lit du malade et constituant l'apanage presque exclusif du laboratoire.

Les précurseurs.

C'est en 1733 qu'un naturaliste anglais, le Révérend Stephen Hales a, le premier, l'idée de brancher sur une artère d'un chien — la carotide ou la fémorale — un long tube de verre maintenu verticalement. Il voit le sang s'élever dans le conduit jusqu'à une hauteur de 2 mètres 50 environ et le niveau libre osciller.

En 1829, le physicien français Poiseuille rend déjà plus pratique cette méthode de mesure en remplaçant le piézomètre de Hales par un manomètre à mercure.

Guettet, peu après, diminue l'encombrement de l'instrument et facilite les lectures en utilisant un tube à boule.

En 1834, un clinicien, Jules Herisson, présente à l'Académie des Sciences un appareil destiné à l'étude de la forme et de la force du pouls. C'est le premier sphygmomètre clinique. Il est constitué par une ampoule de verre fermée en bas par une membrane très mince et continué vers le haut par un tube de cristal gradué. L'ampoule

contient du mercure et, lorsque on applique la membrane élastique sur l'artère, on observe les mouvements de la colonne mercurielle qui traduisent à la vue, selon l'auteur, « toute l'action des artères ».

En 1847, Ludwig adjoint au manomètre de Poiseuille un dispositif inscripteur devenu classique : c'est le kymographe. Il introduit du même coup en physiologie la méthode graphique que la clinique adoptera elle-même beaucoup plus tard.

En 1855, Vierordt effectuant des recherches à la fois sur la vitesse du sang et sur la mesure indirecte de la pression artérielle, montre que celle-ci peut être obtenue en évaluant la contre-pression qu'il faut exercer sur l'artère pour faire disparaître le pouls.

Dans toute cette période, la pression artérielle est étudiée comme un phénomène global et il n'est point question d'apprécier ses diverses valeurs aux instants successifs. Si Poiseuille envisage une pression moyenne, il ne s'agit dans son esprit que d'estimer la valeur répondant au niveau intermédiaire entre les bornes extrêmes de l'oscillation de la colonne mercurielle. Il ne lui accorde aucune vertu particulière.

Marey.

Avec Marey en 1857 débutent les recherches précises que permet le développement de la méthode graphique dans la réalisation de laquelle ce physicien met tout son génie. L'analyse des courbes d'enregistrement du pouls peut être entreprise grâce au sphygmographe à ressort. Les manomètres métalliques à lecture directe ou inscripteurs rendent possible, par leur faible inertie, l'étude des divers moments de la pression artérielle. Par contre, la colonne de mercure trouve un emploi nouveau avec la construction du manomètre compensateur (ou amorti)

qui donne à Marey l'occasion de définir physiquement l'existence d'une pression moyenne et de la mesurer. C'est, suivant la description de son auteur, « un manomètre à large réservoir comme celui de Guettet, mais dont la colonne présente à son origine un rétrécissement qui ne permet pas au mercure d'exécuter des mouvements rapides. Son niveau libre reste presque immobile entre les maxima et les minima des oscillations : il en prend exactement la moyenne. »

Les premières expériences sur l'animal relatives à la valeur de la pression moyenne, à ses variations et à sa distribution le long du circuit vasculaire sont réalisées par Marey lui-même et ses résultats servent encore de base à l'hémodynamique.

Ainsi naissait, avant toute autre donnée, la pression artérielle moyenne avec son procédé de mesure. Un peu plus tard, Marey fixait également le principe de la détermination pléthysmographique de la pression systolique, procédé dont Riva-Rocci devait mettre au point une application clinique en 1896 après Hill et Bernard.

De Marey à Pachon.

En 1861, Setschenow modifie le manomètre compensateur de Marey. L'adjonction d'un robinet sur le tube manométrique interrompt la colonne et fait de l'instrument un manomètre ordinaire ou un manomètre amorti à volonté.

Von Basch, de Vienne, en 1881, modifiant les techniques pléthysmographiques de Marey, comprime le vaisseau au moyen d'un sac rempli d'eau en relation avec un manomètre à mercure.

Potain, en 1902, supprime eau et mercure. Il dote la clinique du premier sphygmomanomètre véritablement pratique qui se compose d'une ampoule de caoutchouc

ellipsoïdale à quatre secteurs, dont trois rigides et un souple destiné à prendre contact avec le vaisseau à l'étude. L'ampoule est en rapport avec un manomètre métallique. Une poire permet la compression jusqu'à extinction du pouls en aval.

En matière de pression moyenne, Potain qui suivait avec intérêt les travaux de Marey avait pressenti l'importance de cette donnée spéciale et écrivait :

« Dans l'intervalle des pressions extrêmes maxima et minima la pression passe par une série d'oscillations de valeurs très inégales et variables que représentent à merveille les oscillations de la courbe sphymographique. Or, la force en vertu de laquelle le sang circule à travers les organes et qui surtout nous intéresse, étant, après tout, la somme de ces pressions successives et variables, leur moyenne est surtout ce qu'il nous importerait de connaître et qui pourrait donner une idée plus juste du travail qui s'accomplit dans le système artériel. »

Nous aurons l'occasion de décrire plus loin l'artifice par lequel il réussit à obtenir cette pression moyenne et ~~à conduire les recherches au terme desquelles il affirme~~ l'existence d'un parallélisme entre la minima et la moyenne.

Pachon.

Un pas immense en avant est effectué lorsque Pachon, en 1909, enrichit le laboratoire et la clinique d'un appareil vraiment remarquable, l'oscillomètre à sensibilité constante qui porte son nom.

Désormais l'étude de l'ampliation artérielle est possible avec une précision quasi mathématique sous toutes les valeurs de contre-pression désirées.

La question préoccupait les esprits puisque Amblard revendique l'honneur d'avoir dès 1907, avec un simple manomètre métallique extrasensible, jeté les bases de l'oscillométrie clinique et proposé les repères de Mx, My et Mn qui ont actuellement cours.

Pachon, en effet, tandis qu'il mettait au point son sphygmomètre oscillographique s'attachait à définir un critère oscillométrique de la maxima et surtout de la minima. C'est l'oscillation maximale qui devint le signe de cette dernière. Il fut fortement discuté. Les échanges mémorables de notes entre Pachon d'une part, Alexandre et Moulinier, Mougeot et Petit, Barré et Strohl, Billard et Merle d'autre part en font foi. Ce n'est guère qu'une dizaine d'années plus tard que l'accord se fera sur le critère actuel.

Presque au même moment Vaquez avec son sphygmographe (1908) apportait sa solution personnelle au problème et Ehret définissait son critère palpatoire de la minima (1909).

Dès lors on s'occupe de tous côtés et simultanément en France, en Angleterre, en Allemagne, en Autriche d'inscrire correctement le pouls humain, de contrôler par des expériences cruciales exécutées tant sur l'animal que sur l'homme les critères proposés jusque là pour Mx et Mn (Dehon et Dubus en 1912; Mc William et Melvin en 1914).

La pression moyenne paraît oubliée. Vaquez dans son livre sur les arythmies en 1911 en souligne bien l'intérêt clinique, mais il faut arriver en 1921 pour lui voir retrouver une importance que seules les difficultés de mesure lui avaient interdite dans le passé.

C'est, en effet, de 1921 que date la découverte du critère oscillométrique de la pression moyenne par le Professeur Pachon sur son classique schéma circulatoire :
« La valeur de contre-pression à laquelle correspond

l'indice oscillométrique représente exactement — pour cet auteur — la valeur de la pression efficace ou moyenne dynamique du régime circulatoire du tube artériel exploré. »

Le praticien possède dès lors un moyen commode et clinique pour obtenir la pression efficace. Pachon s'efforce simultanément de matérialiser les résultats des mesures de la pression moyenne. Il définit avec ses élèves les rapports respectifs de M_x , M_n et M_y , établit les relations de ces trois chiffres tensionnels avec la force du cœur, les résistances périphériques et le débit artériel.

De Pachon à Vaquez.

Mais ces découvertes ne semblent pas frapper immédiatement l'attention des cliniciens et n'ont pas dès cette époque le retentissement qu'elles méritent. De 1920 à 1930, c'est par d'autres voies et d'autres moyens que Sahli à Berne, Barbier à Lyon tentent d'éclaircir le problème circulatoire en utilisant, l'un son sphymobolomètre, l'autre l'auscultation et la palpation.

Vaquez.

Grâce à Vaquez, depuis 1931, la pression moyenne entre dans la voie des applications cliniques. Il faut, en effet, les expériences de Gley et Gomez, tant sur le schéma circulatoire que sur l'animal, pour susciter en faveur de la pression moyenne un courant d'intérêt universel. Vaquez et ses élèves, après avoir vérifié le critère de Pachon, entreprennent de réunir et d'examiner de nombreux documents cliniques qu'ils s'efforcent de classer pour en déduire la signification diagnostique et

pronostique de la nouvelle donnée manométrique. Ils sont suivis par de nombreux auteurs dans cette voie.

La pression moyenne est surtout étudiée dans les maladies du cœur et des vaisseaux; et la pathologie vasculaire est révisée à la lumière des conceptions dynamiques renouvelées.

On découvre (Vaquez) et discute (Sédillot) un syndrome d'hypertension moyenne solitaire. Le rôle de la pression artérielle moyenne dans la grossesse, l'effort, la fatigue, les maladies infectieuses, la tuberculose est envisagé.

Citer tous les travaux récents n'est pas dans notre dessein. Le recul du temps manque pour juger de leur retentissement. Divers courants d'opinion se font jour peu à peu, et nous croyons pouvoir discerner, en France tout au moins, quelques nuances de points de vue entre les Ecoles de Lian, de Laubry, de Gallavardin et de Vaquez.

Les travaux étrangers ne sont guère abondants. On s'est peu occupé de la pression moyenne dans les pays anglo-saxons. L'Italie, l'Argentine ont apporté leur contribution au problème et plus récemment la Russie.

*
**

Telles sont, brièvement résumées, les grandes lignes de l'histoire de la pression artérielle moyenne.

Une lecture attentive des principaux travaux effectués sur la question nous a suggéré certaines remarques théoriques.

Nous nous sommes demandé en particulier si les différentes propriétés physiques accordées à la pression moyenne répondaient à une définition unique, s'il y avait, en d'autres termes, *une* pression moyenne ou *des* pressions moyennes selon l'esprit avec lequel on envisageait le problème.

Etudiant d'autre part en soi-même le dispositif oscillométrique, nous nous sommes également occupé de savoir ce que signifiait au juste la courbe oscillométrique et si la pression moyenne intervenait réellement dans la production de l'oscillation maximale qui en serait le témoin. L'existence de certaines formes de courbes nous fit douter de cette intervention et soupçonner un rôle prépondérant de la paroi artérielle.

Enfin la complexité bien connue du déterminisme de la pression artérielle même nous conduisait à rechercher en quoi la pression artérielle moyenne pouvait renseigner l'analyste sur des expressions mécaniques telles que le débit vasculaire, la force du cœur, l'élasticité artérielle.

Dans ces conditions, il nous a paru intéressant, non pas d'élaborer une revue générale de la question, mais plutôt de faire le point sur nos acquisitions.

Qu'est-ce que la pression artérielle moyenne ?

Comment la peut-on mesurer sûrement ?

Quelle est l'utilité de sa connaissance pour le physiologiste et pour le clinicien ?

Voilà ce que nous allons tenter, sinon d'éclaircir, du moins de discuter avec toutes les ressources que peut nous fournir l'expérience confrontée à la documentation parue à ce jour.

CHAPITRE II

DÉFINITIONS ET SIGNIFICATION PHYSIQUE DE LA PRESSION ARTÉRIELLE MOYENNE

ÉTUDE CRITIQUE

Il est inutile de faire de l'algèbre à propos d'un phénomène nécessairement mal défini.

(BOUASSE).

Tous les auteurs, à la suite de Pachon, semblent d'accord à ce jour pour qualifier de pression moyenne dynamique en un point de l'arbre artériel la pression idéale qui, si elle se trouvait maintenue constante en ce point, réaliserait dans le réseau vasculaire situé en aval, un débit strictement égal, pendant le même temps, à celui qu'établirait la pression variable y régnant en réalité (1).

En particulier, la pression moyenne générale serait celle qui, supposée constante à l'origine de l'aorte, entretiendrait dans l'ensemble du système vasculaire le

(1) D'après Maurice Renaud (*Revue critique de pathologie et de thérapeutique*, février 1932).

même débit sanguin que le jeu des pressions engendrées par le moteur cardiaque.

Telle est l'idée attribuée à Marey dès 1878. Le principe en est explicitement exposé (1) et la notion implicitement admise dans la plupart des travaux récents que nous avons pu consulter.

L'intention profonde qui dirige la pensée des observateurs est donc de substituer et à tout le moins d'opposer aux conceptions bien établies de pression maxima ou systolique et de pression minima ou diastolique qui ne représentent que deux valeurs instantanées remarquables du cycle des pressions régissant la circulation, celle d'une valeur nouvelle, *théorique*, qui pût être donnée comme le facteur énergétique essentiel de cette circulation.

En proposant dès 1921 le terme de pression dynamique efficace, Pachon renforce encore cette opinion qui ne souffre pas d'équivoque.

Et ainsi naît l'espoir d'obtenir, d'un côté, l'évaluation du travail du cœur (2) et de ses potentialités fonctionnelles, et de l'autre, une connaissance chiffrable de l'irrigation des tissus (3).

Nous allons voir que les phénomènes ne sont pas aussi simples qu'on les représente en général et que les éléments de leur étude nécessitent une révision sérieuse avant de permettre d'établir des coefficients, des indices et des fiches de pronostic.

Qu'il nous soit permis, tout d'abord, quelques petites remarques.

Les qualités de dynamique et d'efficace attribuées à la pression moyenne consacrent un abus de langage sinon une double erreur de principe.

(1) L. Hennequin; thèse 1931, Introduction.

(2) Potain, cité par L. Hennequin, thèse, page 15.

(3) La pression moyenne étant « la caractéristique du débit circulatoire ». Thèse Hennequin, page 102.

On enseigne en hydrodynamique que le mouvement d'un liquide dans un conduit quelconque offre à considérer à chaque instant et en tout point

- la vitesse du fluide,
- sa pression contre les parois.

La vitesse U du fluide est comptée selon l'axe du courant. Elle se mesure directement par le chemin parcouru ou indirectement par la dépense dans un temps t qui conduit à donner le débit Q ou dépense dans l'unité de temps. Ces dernières grandeurs se rattachent immédiatement à la vitesse si l'on connaît l'aire de la section droite du conduit au point considéré.

La vitesse est fonction de l'impulsion donnée au départ et des résistances rencontrées. De l'antagonisme entre l'impulsion et les résistances naît, d'autre part, la pression (1) qu'équilibre à tout instant la tension du conduit.

La pression, pour une vitesse donnée, varie dans le même sens que les résistances, quelle que soit la nature de celles-ci (viscosité, caractères des parois, calibre du vaisseau) et peut servir à leur mesure (2). On conçoit donc, si l'on aborde l'observation avec un esprit finaliste, qu'il y ait quelque impropriété à qualifier d'efficace une pression sous laquelle un liquide circule dans un tube (3).

A vrai dire, le physicien, sans préjuger du déterminisme des phénomènes, a pu relier par des lois approchées la distribution des pressions dans une conduite

(1) E. Gley. *Traité élémentaire de physiologie* 1913. Etude analytique de la pression artérielle, page 412 (Puissance cardiaque, résistance vasculaire, quantité de sang).

(2) A.-W. Volkmann, 1850. *Die Hämodynamik*. Cap. I, Seite 2.

(3) Il n'en va pas de même de la pression ventriculaire qui possède un sens tout différent et un rôle vraiment moteur, s'exerçant sur un liquide sans vitesse appréciable pour en modifier l'état.

avec la vitesse. Il définit pour cela la charge H , qui est, pour une longueur L entre deux points du circuit, la différence des niveaux piézométriques de ces points. U et Q s'évaluent dès lors en fonction simple de $\frac{H}{L}$ (1).

Par exemple, pour un tube cylindrique, régulier, non capillaire, de diamètre D , la vitesse est sensiblement racine d'une équation de la forme

$$\frac{H}{L} = \frac{4}{D} (mU^2 + nU) \quad (\text{PRONY})$$

m et n étant des paramètres propres au tube et au fluide.

Dans un tuyau capillaire, la relation de Poiseuille est du type

$$k. U = \frac{H}{L} D^2$$

Enfin, lorsqu'on se propose d'évaluer une énergie, reste à tenir compte d'une perte de charge existant à l'entrée du conduit et qui est utilisée à imprimer au liquide sa vitesse. Cette perte de charge a pour valeur

$$\Delta p = \frac{U^2}{2g} \text{ dans tous les cas.}$$

C'est la *hauteur de vitesse* de Volkmann.

Nous avons tenu à rappeler ici des notions qui vont nous être utiles. Pour le présent, retenons en surtout la différence entre une charge par unité de longueur qui est efficace et une pression qui ne l'est guère, isolément considérée (2).

(1) Ces considérations s'appliquent à des tuyaux horizontaux. Nous nous y tiendrons pour la clarté de l'exposé.

(2) Ce qui ne veut pas dire que le débit ne soit lié directement à la pression en un point d'un circuit donné et immuable. Mais si quelque chose est modifié dans le circuit, seul le rapport $\frac{H}{L}$ renseigne sur les variations subies par la vitesse et permet de les calculer.

Quant au terme de pression dynamique, s'il implique la même idée motrice que celui de pression efficace, il offre en outre l'inconvénient de posséder pour l'hydraulicien un sens tout particulier : la pression dynamique est celle qui s'exerce du fait du courant fluide contre tout élément de surface normal au sens du mouvement. Sa valeur est toujours supérieure à celle de la pression latérale qui, elle, est une pression statique. Elle rend bien compte, en l'équilibrant, de la vitesse sous tension du fluide. Mais elle n'est susceptible encore d'aucune mesure pratique convenable (1).

Au demeurant, l'appellation de pression moyenne, comme nous allons le voir, suffit et ne doit pas souffrir d'ambiguïté pour un lecteur possédant quelque rudiment de mécanique et d'algèbre. En faire le départ avec la moyenne arithmétique (2) est s'attarder à des considérations par trop élémentaires. Nous désignerons néanmoins, dans ce qui suit, et pour respecter l'intention des auteurs d'introduire un rapprochement entre une pression et un débit (3), sous le nom de pression de moyen débit, la pression idéale qui règnerait contre les parois de la canalisation au point considéré en rapport avec une dépense totale identique à celle qui se trouve réalisée sous un régime cyclique donné dans un temps assez long ou multiple de la période.

*
* *

Ceci posé, examinons sur quoi repose l'évaluation théorique et pratique de la grandeur ainsi définie. Elle est basée sur l'analyse géométrique du sphygmogramme

(1) Bouasse. *Jets, tubes et canaux*, Paris (Delagrave 1923). Pages 42 à 51.

(2) Suivant les idées de Poiseuille.

(3) Tout au moins pendant le temps d'une expérience où les caractéristiques du circuit sont fixes.

proposée par Pachon et Fabre d'une part, et d'autre part, sur le comportement du manomètre compensateur à grande inertie de Marey.

Or, quelle est la nature des indications fournies par le manomètre de Marey ? On sait que dans cet instrument (fig. 1), la colonne de mercure tend à subir à chaque instant une dénivellation dh proportionnelle à l'ex-

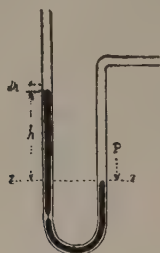


Fig. 1.

cès de la pression P qu'elle équilibre sur la hauteur h qu'elle possède et à la durée d'action de cette pression différentielle. Ceci s'écrit :

$$(1) \quad dh = K (P-h) \, dt.$$

Nous n'entreprendrons pas de démontrer ici comment, lorsque P est une fonction périodique du temps, le manomètre tend à acquérir une position d'équilibre déterminée. Constatons le fait d'expérience sans nous engager dans le dédale des subtilités mathématiques. Et voyons ce que nous enseigne l'examen de cet équilibre.

Intégrons (1) entre deux limites t_1 et t_2 . Il vient

$$\left(\frac{h}{K}\right)_{t_1}^{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} P \, dt - \int_{t_1}^{t_2} h \, dt$$

Le premier membre est toujours négligeable puisque h est sensiblement constant; mais nous devons nécessairement choisir t_1 et t_2 tels que leur intervalle soit celui d'une période θ , soient t et $t + \theta$.

Dans ces conditions ,on voit que

$$o = \int_t^{t+\theta} P dt - h\theta$$

d'où

$$h = \frac{\int_t^{t+\theta} P dt}{\theta}$$

h est, au sens algébrique du mot, la pression moyenne dans le temps d'une période. Nous en désignerons la valeur par le symbole My selon les conventions habituelles.

Faut-il faire remarquer que dans le calcul, comme dans le principe, le débit du conduit sur lequel est branché le manomètre n'intervient à aucun moment ? Sans aucun rapport nécessaire avec la dépense du vaisseau l'indication du manomètre de Marey, par l'équation même qui l'explicite, situe la limite vers laquelle tend la moyenne arithmétique (1) des pressions instantanées successives lorsqu'on augmente indéfiniment le nombre des déterminations effectuées pendant une période.

Considérons en effet le diagramme de la fonction $P = f(t)$ (fig. 2). Divisons par la pensée l'intervalle t_1 t en n parties aliquotes Δt et considérons les pressions correspondantes. Nous pouvons écrire :

$$\frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} = \frac{\Delta t.P_1 + \Delta t.P_2 + \dots + \Delta t.P_n}{\Delta t.n}$$

et plus généralement :

$$\frac{\Sigma P}{n} = \frac{\Sigma P \Delta t}{t-t_1}$$

(1) Et non pas la somme algébrique comme l'a écrit M. Renaud (loc-cit.).

Faisons croître n indéfiniment. Δt est dès lors l'infiniment petit différentiel dt . A la limite, nous avons

$$\lim. \frac{\Sigma P}{n} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P dt}{t - t_1}$$

et dans l'intervalle d'une période :

$$\lim. \frac{\Sigma P}{n} = \frac{\int_t^{t+\theta} P dt}{\theta}$$

Cette notion fondamentale de moyenne des pressions successives aux divers instants, acquise par l'examen du manomètre de Marey, doit être bien retenue et bien pré-

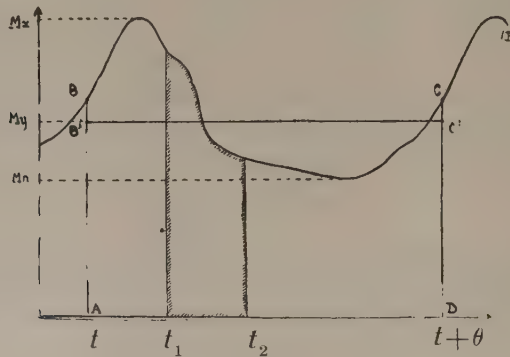


Fig. 2.

cise dans les esprits. C'est la donnée la plus simple, la plus tangible, la plus exacte que nous possédions sur le sujet (1). Elle ne préjuge, répétons-le, en rien, de toute indication de débit. Nous pourrions traduire l'essence de sa signification en langage courant et la qualifier de

(1) Quoi qu'en pensent MM. Boulet, Balmès et Giaesté.

pression moyenne par rapport aux temps, ou encore pression moyenne de régime (1).

Une représentation graphique commode de My nous est suggérée par la forme de l'équation donnant la hauteur d'équilibre du mercure dans le tube manométrique. Considérons à nouveau le diagramme de la fonction d'ailleurs mathématiquement inconnue $P = f(t)$. La surface $ABCD$ limitée par la courbe, l'axe des t et les deux ordonnées en t et $t + \theta$ a son aire mesurée par

$$\int_t^{t+\theta} P dt \quad (2). \text{ La droite d'ordonnée } My = \frac{\int_t^{t+\theta} P dt}{\theta}$$

borne avec l'axe des t et les ordonnées précédentes le rectangle $AB'C'D$ de même aire que $ABCD$. Il est donc possible de construire My et de constater que la valeur obtenue répond parfaitement à l'indication du manomètre. Le seul intérêt de la comparaison expérimentale à laquelle se sont livrés certains auteurs (3) est de vérifier l'exactitude du principe de l'appareil de Marey qui

(1) Une telle définition de la pression moyenne est donnée par certains auteurs (Vaquez et Gomez en particulier). Mais il nous a paru (thèse Hennequin) qu'on ne s'est pas nettement occupé de la confronter avec celle du débit moyen et l'on en accepte l'équivalence sans autre information.

(2) Remarquons, dès à présent, qu'un produit de la forme $P.t.$ est dépourvu de signification physique ou mécanique. Une surface telle que $A.B.C.D.$ ne représente donc ici rien d'objectif et en particulier n'évalue pas une énergie. Fabre a bien fait cette remarque, mais il ajoute que les travaux correspondant à deux périodes distinctes sont entre eux comme les aires représentatives.

Il n'en peut être ainsi. Si Δ est la dépense, le travail effectué est de la forme $T = P.\Delta$. En adoptant la loi $d\Delta = P.dt$, $dT = P^2.dt$. Il est clair que deux aires égales telles que celles des rectangles

$$P.t. \text{ et } \frac{P}{2}.2t \text{ représentent les travaux } P2t \text{ et } \frac{P^2}{4} \times 2t = \frac{P^2}{2}.t$$

qui ne sont pas égaux.

(3) R. Fabre notamment.

ne saurait être mis en doute. Elle n'apprend rien de plus. Au reste, la détermination graphique de M_y n'est pas un procédé commodément utilisable.

Dans la pratique, en effet, le diagramme $P = f(t)$ n'est autre chose que le sphygmogramme recueilli sur le segment de conduit en expérience, le lieu géométrique des points figurant les pressions sanguines P inscrites en fonction du temps t en cet endroit. Mais, pour

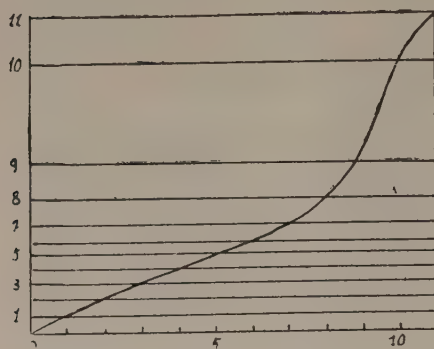


Fig. 3. — Exemple de courbe des correspondances entre les déplacements du style inscripteur et les pressions. — En abscisses pressions en centimètres de mercure. En ordonnées hauteur du style.

qu'un sphygmogramme réponde réellement à cet objet, il doit remplir au moins deux conditions :

— Etre obtenu à l'aide d'un dispositif sans inertie appréciable,

— Et gradué (1) rigoureusement par la comparaison avec un manomètre à mercure branché sur le vaisseau et en fonctionnement statique. Quand on procède à cet étalonnage, on s'aperçoit que l'échelle des ordonnées n'est pas uniforme (2). Les membranes et milieux qui,

(1) Et les physiologistes, Marey le premier, s'en sont bien rendu compte. Mais ils opèrent leur graduation en supposant les ordonnées proportionnelles aux pressions (Potain, Gallavardin). Il faut voir là la cause de nombreux désaccords dans leurs estimations.

(2) Voyez figure 3. Expérience personnelle avec un sphygmographe du type Chauveau.

dans les sphygmographes habituels (1), font en effet produire à une variation de pression une déformation d'un système élastique (2) qui amène le déplacement d'un style ne réalisent pas une correspondance proportionnelle des deux phénomènes. C'est dire que les diagrammes généralement enregistrés dans les laboratoires comme en clinique ne s'inscrivent pas directement en coordonnées cartésiennes, et ne doivent pas servir à des évaluations numériques sans précautions.

Bien plus, si l'étalonnage et la transposition corrects d'un sphygmogramme sont aisément réalisés sur un circuit expérimental, ils ne peuvent plus l'être en clinique. L'emploi du sphygmographe sur le sujet humain ne nous permet donc de retenir aucun document pour l'objet qui nous occupe.

Ajoutons à ces difficultés l'usage nécessaire de la méthode pondérale pour la détermination des surfaces et nous aurons montré que la complexité de telles expériences ne répond pas à leur intérêt. Elles ne sauraient en aucune façon nous prouver que la pression moyenne n'est une pression moyenne par rapport au temps (ou de régime) quand on la définit par la lecture du manomètre de Marey.

*
**

Les spéculations mathématiques de R. Fabre nous permettent-elles d'envisager la question sous un aspect différent ?

(1) Même constitués d'une membrane biologique comme une veine, à la manière de Hédon.

(2) Comprenant ou non la paroi artérielle. Un vice capital frappe, d'autre part, les appareils utilisant le jeu de la paroi artérielle en ce qu'ils font intervenir l'élasticité de *forme* de l'artère (phénomène du pouls) plus encore que son élasticité de *matière* (dilatation). L'étalonnage devient particulièrement délicat. Il n'est pour s'en convaincre que de comparer entre elles les courbes d'un même pouls que donne la capsule oscillographique de Boulitte pour des contrepressions variées.

Considérons le sphygmogramme parfait (1) recueilli sur un segment artériel déterminé, et rapporté à ses axes de coordonnées rectangulaires. Le raisonnement de Fabre (2) est le suivant : Au temps t et pendant la durée infiniment petite dt où l'on peut regarder P comme constant, la dépense élémentaire $d\Delta$ est proportionnelle à P et à dt , à un facteur constant près K (3). De sorte que l'on peut écrire : $d\Delta = K. P. dt$. Cette équation différentielle admet l'intégrale indéfinie

$$\Delta = \int K P dt = K \int P dt$$

Envisagée entre deux limites t_1 et t_2 , l'intégrale définie correspondante $\left[\Delta \right]_{t_1}^{t_2} = K \int_{t_1}^{t_2} P dt$ signifie que l'aire comprise entre la courbe, l'axe des abscisses et les ordonnées t_1 et t_2 mesure au facteur K près, la dépense artérielle au point considéré du temps t_1 au temps t_2 . P étant une fonction périodique du temps, envisageons le phénomène pendant une période θ . La pression moyenne Mg constante, et capable de réaliser (4) la

(1) Conforme aux conditions énoncées plus haut et tel que permet de l'obtenir par exemple le nouvel appareil de MM. L. Bugnard, P. Gley, Langevin et Nougues.

(2) Repris par Boulet, Balmès et Ginestier (*Archives de la Société des Sciences Médicales et Biologiques de Montpellier*, 13^e année, fascicule 11, page 108, s.q.).

(3) N'y a-t-il pas une étrange contradiction à rapprocher cette formule de l'opinion de Marey (cité d'après Hennequin) qui voulait que la pression moyenne fût en raison inverse de la vitesse du sang dans les artères, pour avoir observé que la décroissance de la pression le long du système vasculaire est d'autant moins rapide que les capillaires offrent plus de résistance ?

Les deux notions se concilient et l'ambiguïté disparaît si l'on fait intervenir la charge par unité de longueur. Le premier cas (formule) sous-entend une augmentation de la charge, le second (Marey) un abaissement avec P .

(4) Nous avons déjà dit ce qu'il fallait penser du rôle moteur de la pression latérale isolément considérée.

dépense $\Delta_\theta = K \int_t^{t+\theta} P \, dt$ pendant le temps θ
selon la loi $d\Delta = K \cdot P \cdot dt$ est nécessairement

$$My = \frac{\Delta_\theta}{K\theta} = \frac{\int_t^{t+\theta} P \, dt}{\theta}. \text{ En nous reportant à la}$$

aire $ABCD$

$$\text{figure 2, } My = \frac{\quad}{\theta} \text{ ce qui revient à considérer}$$

My comme la hauteur AB' du rectangle $AB'C'D$.

Cette théorie qui aboutit au même résultat que l'examen du manomètre de Marey, mais par des voies différentes, ne peut être acceptée sans de sérieuses objections.

La relation $d\Delta = K \cdot P \cdot dt$ semble bien vouloir être une application pure et simple de la loi de Poiseuille sur les conduits capillaires. Or dans l'équation de Poiseuille, ce n'est pas la pression latérale en un point qui est envisagée, nous l'avons vu (1), mais bien la charge
par unité de longueur $\frac{H}{L}$.

Que vaut dès lors la relation ? En toute rigueur, H représente l'excès de la pression artérielle P sur la pression veineuse p (2). On devrait écrire, en faisant pas-

(1) Le lecteur achèvera d'éclairer sa religion en relisant W. Wundt: *Traité élémentaire de Physique Médicale*, J.-B. Baillière, Paris, 1884, page 156 s.q.

(2) D'après les évaluations de différents auteurs, voici quelques ordres de grandeur de la pression veineuse:

— 22 mm de mercure au sortir des lacis capillaires, mesurée sur les vaisseaux rétinéens par H. Claude, Lamache et Dubar.

— 7 mm de mercure en moyenne dans les grosses veines des membres.

— 7 à 10 mm dans les veines caves.

Tous ces chiffres, déterminés dans le décubitus dorsal, sont grevés dans la station debout d'une pression statique en plus ou en moins selon le vaisseau et sa place dans l'économie.

Cette surcharge n'entre cependant pas ici en ligne de compte car elle affecte également l'artère homologue.

ser L dans la constante, $d\Delta = K (P-p) dt$. Il faut en appeler aux recherches expérimentales de Volkmann qui tendent à montrer que dans un petit intervalle des variations de pression P , celle-ci reste sensiblement proportionnelle à la charge, pour établir que la dépense dans cet intervalle répondrait approximativement à une fonction linéaire de P .

Encore la théorie veut-elle que pression et charge soient comptées le long du réseau capillaire supposé homogène (1) entre son origine et sa terminaison (2). Or, si l'on croit pouvoir négliger sans grande erreur les variations de la pression veineuse qui sont à vrai dire très faibles le long du circuit de retour où la pression est réduite, on sait fort bien que la tension se dégrade dans le système artériel, de l'aorte aux embranchements capillaires, et se dégrade d'une quantité inconnaissable, selon un mécanisme beaucoup plus complexe qu'elle ne le ferait dans un tube rigide, cylindrique et de calibre uniforme. Dans un tel conduit, en effet, les chutes de pression sont dans un rapport constant avec les distances. Mais ici, outre l'incertitude du point où commence la capillarité, outre l'absence totale de données sur la perte de charge à entrée du réseau, si l'on veut bien considérer que le système artériel se comporte avant tout (3) comme un vaste réservoir élastique dont la capacité est variable non seulement dans le temps

(1) C'est-à-dire conditionnant une chute de pression identique sur toute son étendue.

(2) Si l'on désire en effet évaluer la dépense à travers la section droite d'un gros vaisseau quelconque, il est possible de le faire sans tenir compte des conditions offertes en amont et en aval. Ce n'est plus la formule de Poiseuille qu'il convient alors d'appliquer mais une équation du type Prony où la variable est

la limite du quotient $\frac{H}{L}$, la longueur L tendant vers zéro.

(3) Et c'est un physicien qui nous le rappelle, Cf Bouasse, loc. cit. page 335.

mais encore dans l'espace et que la répartition des pressions s'y modifie à chaque moment de la révolution cardio-vasculaire, on comprendra que la mesure de la tension sur une artère comme la radiale nous apporte une lumière très insuffisante sur ce qui se passe à l'origine des capillaires... du moins en ce qui concerne l'application de l'équation de Poiseuille.

Enfin en admettant que l'expérience, et nous ne sachons pas qu'elle ait été faite, ait prouvé aux auteurs que la dépense était fonction des pressions et du temps sur le mode linéaire, la relation $d\Delta = K. P. dt$ consacrerait encore une erreur notable. Une fraction seulement de la valeur absolue de la tension se trouve en rapport avec le mouvement du fluide. Si l'on impose à celui-ci le repos, non point par faradisation du vague comme le font les physiologistes (1) (car ce procédé, s'il provoque bien l'arrêt du moteur cardiaque, doit augmenter également la capacité du réservoir vasculaire) mais par une simple ligature posée en amont de l'artère étudiée, on constate que sa pression possède encore une certaine valeur. Il en résulte que les caractéristiques du mouvement se trouvent liées à l'excès de la pression actuelle sur cette valeur résiduelle que l'on pourrait appeler minima absolue, et non à la valeur globale de la pression. Cet excès, c'est la pression utile (2) du physicien.

Voilà fait le procès de l'application d'une formule simple à un système bien compliqué. Encore notre analyse n'a-t-elle visé que le problème de l'hydraulique d'un tel réseau en régime permanent. Que va-t-il donc en être lorsque la pression variant brusquement avec les impulsions cardiaques vont jouer l'inertie du liquide, l'élasticité très spéciale des parois (3), et se propager

(1) Gley.

(2) Utile à considérer, non pas motrice.

(3) Si ce n'est leur motricité (Wybauw, *Presse Médicale* du 8 février 1933).

des ondes d'ébranlement (1)? Il est facile de le savoir; laissons là la théorie, et reportons-nous à des expériences déjà anciennes. Le débit d'un vaisseau est proportionnel à la vitesse du fluide qui le parcourt (2). Or, s'il était également fonction linéaire de la pression pendant les variations de celle-ci (3), vitesse et pression seraient à chaque instant proportionnelles entre elles. Rien de ceci n'est évident, à la lecture des tracés obtenus par Chauveau et Marey sur l'animal. On y voit, au contraire, en fin de systole, une ascension de pression coïncider avec une perte de vitesse.

Le phénomène étudié sur une carotide est aisé à comprendre si l'on songe au rôle de réservoir élastique joué par les grosses artères (4).

Maintenant, que le fait observé sur la tranche de section d'un gros tronc d'origine cesse de se vérifier à l'entrée du réseau capillaire, cela est fort possible. Mais à ce prix, il serait encore bien plus absurde d'accorder

(1) La propagation de l'onde pulsatile dans le régime varié amène une complication supplémentaire dans le calcul du débit en ce que la perte de charge ne dépend plus seulement de la distance entre deux points, mais aussi du décalage de leurs phases dans le cycle des pressions.

(2) Et à l'aire de sa section droite. Mais, outre que les variations de celle-ci sont relativement négligeables numériquement parlant, elles interviennent dans le même sens au multiplicateur de la charge (sinon de la pression) pour donner le débit. De sorte que nous n'avons pas à en tenir compte dans la comparaison entreprise.

(3) Comme l'entendent les auteurs que nous discutons.

(4) L'impulsion cardiaque introduit, au début de la systole, le sang dans le réservoir avec une accélération qui n'est autre que la force propulsive (pression ventriculaire utile), d'où la vitesse croissante. Mais quand le réservoir a atteint un certain taux de réplétion, la résistance devient assez grande pour réduire la vitesse alors même que la pression continue à croître. L'évacuation de l'artère intervient pendant ce temps comme une réduction de résistance. Pendant la diastole, le réservoir se vide par expression.

aux pressions une considération que l'on refuse aux vitesses.

Pour résumer en quelques mots le débat fatalement aride auquel vient de nous amener l'examen de la théorie de Fabre, nous dirons que l'évaluation du débit d'une artère en fonction proportionnelle de la pression mesurée en un de ses points est irrecevable car elle nous place devant le dilemne suivant :

Ou bien on a voulu considérer le débit entretenu à travers la section droite d'un gros vaisseau, et dans ce cas ce n'est pas la relation de Poiseuille qui convient, mais une formule du second degré. Volkmann l'a constaté en régime permanent dès 1850. Et nous avons vu ce qu'en régime variable permettent d'en penser les courbes de Chauveau et Marey.

Ou bien on prétend appliquer la loi de Poiseuille au seul système capillaire, mais alors on utilise des données qui ne se trouvent nullement dans les conditions légitimes de validité du calcul (1).

Ainsi donc, et malgré l'apparence de rigueur que lui confère l'emploi de belles formules et de symboles d'intégration, le raisonnement ne saurait permettre en l'état actuel des choses de déterminer la valeur de la pres-

(1) Au point de vue physiologique, la question d'étudier les variations de $\Delta = F(t)$ en régime modulé dans le système capillaire ne doit pas d'ailleurs se poser, en principe.

Les physiiciens savent en effet que l'amplitude d'une oscillation s'amortit le long d'une conduite en fonction exponentielle de sa distance du centre d'ébranlement (Bouasse). De sorte que P serait sensiblement constant à l'origine des ramifications capillaires (Volkmann, *Hämodynamik*, p. 95). C'est ce que vérifient les physiologistes quand ils observent l'uniformité de la vitesse circulatoire dans le chevelu vasculaire du mésentère de la grenouille.

Cependant des recherches récentes (Wybauw) tendraient à montrer l'existence, jusque dans le réseau capillaire, d'ondes pulsatiles dues à la motricité propre des tuniques artérielles et artériolaires.

sion sous laquelle se réaliserait le débit moyen d'un circuit où règne un régime de vitesse périodique.

Toute théorie est vouée à ne donner qu'une approximation grossière et incomplète.

Il était prudent de recourir à l'expérimentation. Celle-ci nous a montré qu'il n'était pas indispensable d'invoquer la nécessité toute gratuite d'une relation du premier degré entre la dépense et la pression pour rendre compte d'une réalité qui d'ailleurs n'avait point été vérifiée à notre connaissance. Le fait d'observation est absolument général : quelle que soit la forme du mouvement et la loi de l'écoulement, la pression de débit moyen s'apparente étroitement à la pression moyenne de régime.

EXPÉRIMENTATION

Les expériences ont été menées en deux temps. Dans le premier nous avons étudié le débit d'une circulation d'eau suivant différentes conduites en fonction de la pression utile observée en un point.

Le dispositif expérimental est des plus simples. Le conduit à l'épreuve est disposé sur une table horizontale. Son extrémité distale se termine par un ajutage cylindrique de calibre au moins égal au reste du circuit (1) et porté par une potence de hauteur variable, permettant ainsi d'obtenir une pression minima absolue de quelques centimètres de mercure. Le liquide se déverse dans un réservoir de jauge, dont nous mesurons le temps de remplissage à l'aide d'un chronomètre gradué en centièmes de minutes. A l'extrémité proximale

(1) De manière à ne pas créer de perte de charge additionnelle.

est branché un manomètre à mercure ordinaire donnant les pressions en ce point (fig. 4).

Le liquide est fourni en principe par un vase de Mariotte, mais nous avons trouvé avantageux de remplacer ce procédé qui ne donne commodément au laboratoire que des pressions réduites, par l'appareillage suivant : l'eau empruntée au secteur est admise à la demande par

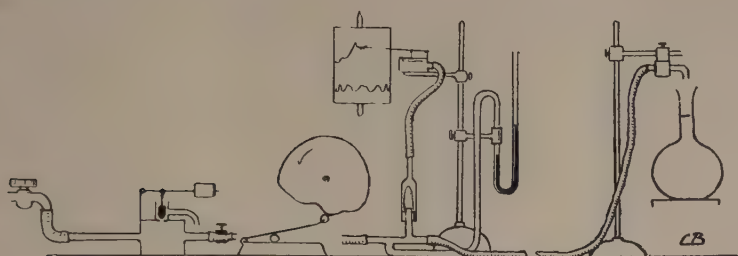


Fig. 4. — Dispositif expérimental

un fragment de tube élastique pris dans une pince à vis réglable. Pour étaler et supprimer les variations possibles dans le régime du secteur, nous disposons en amont de la pince une simple soupape de Papin.

Ainsi sont obtenus des écoulements permanents parfaitement réguliers et sur une échelle de pression très étendue.

Nous avons multiplié les déterminations et calculé les débits à une erreur relative inférieure à $3/100$. Les résultats nous ont permis de construire des courbes dont la figure 5 représente quelques types. Les ordonnées expriment les débits en litres-minute, et les abscisses les pressions en cm. de mercure.

La minima absolue a été prise égale à 3,4, ordre de grandeur physiologique. La courbe I relative à un tube de caoutchouc rigide, cylindrique, du calibre intérieur uniforme de 5 mm., long de 1 m. 50 affecte grossière-

ment l'allure d'une parabole, conformément d'ailleurs à la loi de Prony.

La courbe II concernant un tube de verre de 3 mm. de diamètre, long de 1 m. comportant plusieurs coudes est analogue à la précédente.

La courbe III se rapporte à un circuit répondant au schéma général des conditions de l'organisme. Au troi-

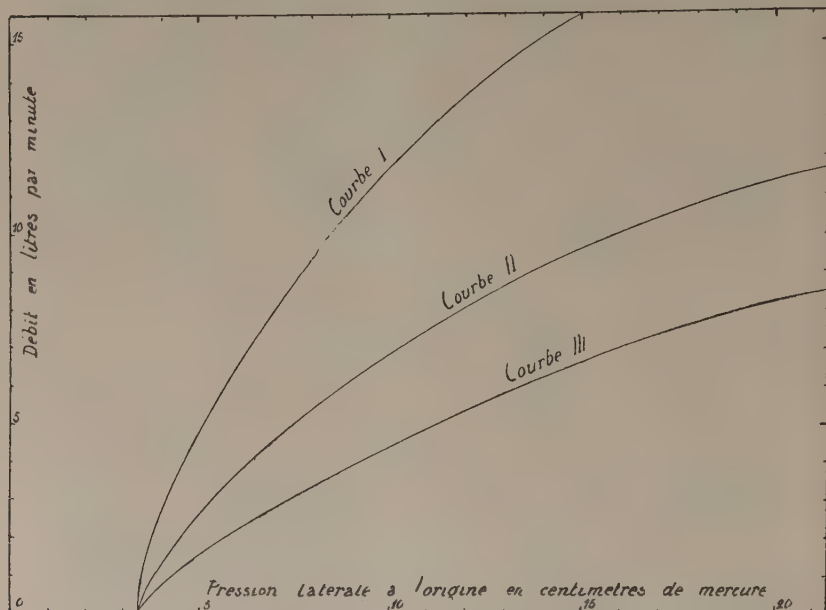


Fig. 5. — Quelques types de relations entre la pression en un point et le débit d'un circuit

sième mètre d'un conduit élastique en feuille anglaise de 4 mm. de diamètre moyen est intercalé un système capillaire de section générale très supérieure et constitué par un gros tube à essai garni intérieurement de canaux de verre effilé de diamètres variés, mais inférieurs à 0 mm. 6 et longs de 25 cm.

Ces courbes permettent d'envisager le problème sous son aspect hydraulique le plus général et en même

temps de le restreindre aux conditions physiologiques. L'évaluation des débits en circuits nécessairement ouverts n'empêche en aucune façon d'en étendre les enseignements à un circuit fermé où le réservoir d'arrivée (en l'espèce le système veineux) recevrait le liquide sous une pression fixe.

Le deuxième temps de nos expériences a consisté à reprendre des conduits aussi divers que possible, sur le type des précédents, et à comparer avec la pression de moyen débit les indications du manomètre à grande inertie, c'est-à-dire la pression de moyen régime.

Pour cela, il fallait obtenir dans les circuits un régime d'impulsions périodiquement rythmées. Deux procédés s'offraient à notre choix; user d'une pompe, comme Pachon, ou interrompre d'une manière connue un écoulement donné. La seconde méthode offrait un certain nombre d'avantages. Elle ne nécessitait qu'une puissance motrice minime, un appareillage simple, et elle était capable de donner des régimes d'impulsion d'une infinie variété, du plus physiologique au plus fantaisiste.

Nous l'avons réalisée de la manière suivante :

En aval de la pince de réglage du dispositif précédent, mais en amont du conduit en expérience, un petit levier formant pince est à même d'aplatir le tube souple sur un plan résistant. Son extrémité libre porte une poulie-guide sur laquelle roule un disque centré sur l'arbre d'un petit moteur. Le bord du disque est découpé suivant la courbe que l'on veut et dont les accidents feront appuyer le levier sur le tube à notre gré (fig. 4).

Nous avons choisi par exemple, pour son dessin, l'enroulement circulaire d'un tracé de pression ventriculaire de cheval d'après Chauveau et Marey (1).

(1) L'idée de donner au profil d'un disque de métal ou d'ébène la forme de la courbe enroulée de la pulsation artérielle ou cardiaque n'est pas neuve. Nous avons trouvé l'usage qu'en fit Delalbre (thèse de Bordeaux 1912; laboratoire du Professeur

A l'origine du conduit en expérience, un sphygmoscope type Chauveau inscrit le pouls et un manomètre amorti (1) donne la pression moyenne de régime.

Le dispositif mis en marche, nous inscrivons le sphygmogramme, repérons la pression moyenne et évaluons le débit sur la dépense totale de 1 litre, volume du réservoir de jauge. Puis nous installons un régime permanent sous une pression égale à la moyenne précédemment notée.

Nous donnons à la page suivante le tableau des résultats obtenus au cours de 16 expériences.

Au moment de déduire des chiffres de ce tableau un enseignement précis, il convient de faire une remarque. Tandis que les écarts relatifs entre les débits en régime permanent et en régime varié, sont dans 11 expériences inférieurs à 0,03, nous les voyons s'élever de 0,05 à 0,12 dans 5 cas (expériences 1, 9, 10, 11 12).

Ces derniers résultats sont nettement aberrants.

Si, en effet, l'erreur d'expérience dont nous avons précédemment fixé la limite à 3 %, en tenant compte uniquement des mesures du volume et du temps, est susceptible d'augmenter sa marge de 2 % pour l'erreur due

Pachon; partie préliminaire) pour vérifier la fidélité des appareils inscripteurs à tambours et leviers à transmission par air. Cet auteur fait varier, au moyen des appuis de la came constituée par le disque découpé, le volume d'un système clos contenant un fluide incompressible tel que de l'eau, et enregistre les courbes inscrites par les appareils à contrôler ou à régler. Leur tracé doit être analogue à celui ayant servi à établir le disque. Il faut noter en passant que Delalbre emploie en maint endroit le terme de pression moyenne. Il ne s'agit dans son esprit que de la moyenne arithmétique des pressions extrêmes.

(1) Nous avons utilisé un dispositif d'amortissement dû à l'ingéniosité de M. Chéchan, préparateur au Laboratoire de Physique Médicale et qui consiste à tasser sur 2 ou 3 cm du coton de verre dans un tube manométrique ordinaire rempli de mercure, puis à faire le vide pour chasser les bulles d'air.

EXPÉRIENCE	DÉSIGNATION DU CIRCUIT				SITUATION	RÉGIME VARIÉ								Ecart relatif des débits $\frac{D_2 - D_1}{D_1}$
	NATURE	Calibre	Longueur	RÉGIME VARIÉ					R. PERMANENT					
				Maxima		Moyenne	Minima	Fréquence à la minute	Débit D1 en litres-minute	Pression	Débit D2 en litres-minute			
1	Tube de caoutchouc (feuille an- glaise)	4 ^{mm}	2 ^m	9,4	7,2	6,2	60	0,153	7,2	0,145	— 0,056			
2	Id.	Id.	Id.	6,4	5,6	4,4	80	0,571	5,6	0,571	0			
3	Id.	Id.	Id.	10	9,2	8,9	58	0,449	9,2	0,442	+ 0,030			
4	Id.	Id.	Id.	8,2	7,4	6,8	78	0,205	7,4	0,206	+ 0,005			
5	Artère fémorale de chien exportée	»	12 ^{cm}	»	4,2	»	64	0,142	4,2	0,144	+ 0,014			
6	Id.	»	Id.	»	4,4	»	»	0,184	4,4	0,186	+ 0,012			
7	Artère carotide de chien exportée	»	15 ^{cm}	»	9,4	»	»	0,126	9,4	0,127	+ 0,008			
8	Tube de caoutchouc mince	»	15 ^{cm}	11,3	9,2	8,9	64	0,261	9,2	0,263	+ 0,008			
9	Id.	»	Id.	8	6,2	4,2	56	0,370	6,2	0,416	+ 0,12			
10	Id.	»	12 ^{cm}	11,6	6,2	5,6	»	0,549	6,2	0,617	+ 0,12			
11	Id.	»	Id.	»	7,6	»	»	0,757	7,6	0,826	+ 0,08			
12	Id.	»	8 cm	12	9,2	7,8	72	0,909	9,2	0,980	+ 0,077			
13	Id.	»	Id.	12,2	10	9,2	120	1,075	10	1,098	+ 0,021			
14	Tube de caoutchouc (feuille an- glaise)	4 ^{mm}	3 ^m	14,1	13,2	11,6	»	0,603	13,2	0,588	— 0,024			
15	Rein de chien exporté	»	»	14,8	14,2	14	72	0,600	14,2	0,624	+ 0,04			
16	Tube de verre	3 ^{mm}	1 ^m	11,6	10,4	9,8	»	0,704	10,4	0,714	+ 0,014			

aux lectures du manomètre (1), les expériences 1, 9, 10, 11, 12, ne peuvent être tenues pour comparables aux autres.

Quelque soin que nous ayons apporté à leur réalisation, faut-il penser qu'un des facteurs du débit ait pu changer à notre insu : pression (du fait d'un calage défectueux de la soupape dans 10, 11, 12, ou d'une per-

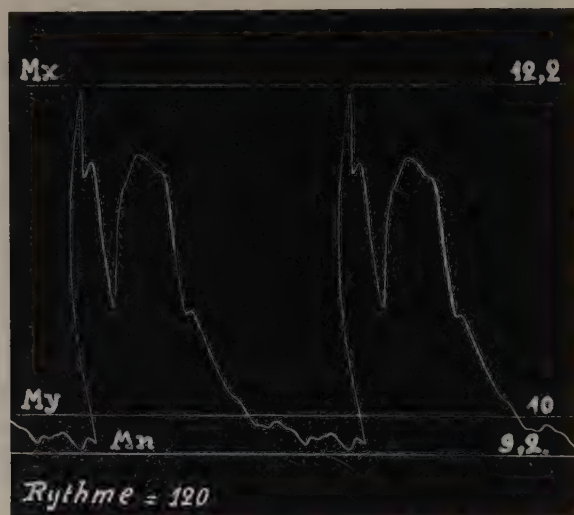


Fig. 6. — Tracé relatif à l'expérience 13.

turbation dans la vitesse du moteur), coudure des conduits, fuites aux raccords ?

Nous ne saurions le dire. Les recherches ultérieures tendront à l'expliquer.

Quoiqu'il en soit, et ceci mis à part, les 11 autres résultats d'expérience montrent à l'évidence que *le débit réalisé en écoulement régulier sous la pression moyenne*

(1) Il s'y fait toujours de petites oscillations. Nous évaluons l'erreur en conformité générale des courbes de la figure 5 dans les limites de pression où nous opérons.

de régime ne diffère de celui que l'on obtient sous pression rythmée que d'une quantité dont l'ordre de grandeur est celui des erreurs expérimentales. Toutefois, à deux exceptions près (expériences 1 et 14), le léger écart observé entre les débits est à l'avantage du régime permanent. Ceci peut s'expliquer si l'on songe que les modifications rapides de la vitesse entraînent dans le régime varié une perte de charge plus grande que dans l'écoulement permanent (1). De sorte que le débit réel y est toujours inférieur dans la règle au débit idéal, même en conduits élastiques.

Nous pensons donc pouvoir, en conclusion de ces recherches, écrire *que la pression de moyen régime donnée par le manomètre de Marey est approchée par léger excès de la théorique pression de moyen débit. Les deux valeurs peuvent être pratiquement confondues.*

Ainsi en va-t-il du moins dans les circuits réalisables au laboratoire de physique. Dans quelle mesure pouvons-nous étendre nos conclusions au domaine de la circulation animale ? Il semble particulièrement difficile de conclure d'un système mécanique dont les réactions dépendent exclusivement de la nature du matériel employé et des conditions laissées au gré de l'expérimentateur à un système organique, vivant, dont les modalités réactionnelles sont déterminées, non seulement par des facteurs mécaniques, mais encore par les potentialités bien spéciales des éléments biologiques. Sans doute, comme le dit Volkmann « les lois de l'hydrodynamique ne concernent pas uniquement le mouvement de l'eau dans des tubes rigides, rectilignes et de calibre uniforme; elles s'appliquent à toutes les circonstances où un fluide parcourt un tuyau (coudé, bifurqué, élastique),

(1) M. Weiss. Principes généraux d'hydrostatique, et d'hydrodynamique. In *Traité de Physique biologique* de D'Arsonval, Chauveau et Marey. Masson 1902, pages 288 s.q.

d'un mouvement régulier ou rythmiquement varié. Et quant aux conditions de la circulation sanguine, si spécifiques soient-elles, elles se réduisent à des forces; le sang est un fluide, les artères sont des tubes élastiques et les contractions cardiaques produisent des impulsions périodiques ».

Mais cet auteur et nous même, ayant opéré sur des organes inanimés, il fallait se demander en quoi pouvaient intervenir les ondes vaso-motrices par exemple pour troubler le phénomène. Quelques bonnes expériences ne seraient pas inutiles. Les difficultés de réalisation ne nous ont pas permis, quant à nous, de mettre au point une technique. Adopter la méthode des gouttes comme Wybauw pour évaluer un débit nous a paru laisser la place à trop d'imprécision. Ouvrir un gros vaisseau provoque une saignée dangereuse et met en jeu des réflexes vasculaires qui peuvent fausser l'observation. Il est enfin délicat d'irriguer in situ et sous pression constante un organe avec le sang même qui le traversait sous la pression rythmée due aux contractions du cœur de l'animal. Nous n'avons donc pas élucidé l'action des ondes vaso-motrices sur le courant sanguin.

En réalité, la lenteur de leur développement permet d'en négliger les effets dans le temps court d'une période de la révolution du pouls, ce qui semble suffisant pour justifier l'extension au système artériel de la proposition accordant la pression de moyen régime avec celle de moyen débit (1).

(1) Les expériences de Wybauw, confirmant celles de Luisada et Tremonti, nous conduiraient à admettre que chez l'animal vivant le débit réalisé sous une pression rythmée à travers un organe riche en capillaires est — grâce au jeu de la contractibilité artério-capillaire — supérieur au débit obtenu sous une pression constante et égale à la pression moyenne du courant modulé.

Il est bien entendu que nous nous garderons d'inférer d'un tel fait que le chiffre de la pression moyenne nous permet de connaître le débit moyen ni même de comparer entre eux des débits moyens. Gallavardin croit que la pression moyenne est susceptible de nous renseigner sur la vitesse du sang dans les capillaires. Nous n'avons pas à revenir ici sur les notions exposées au début de ce chapitre.

Il prêterait à confusion de dire avec Mlle Hennequin que « la pression moyenne est l'expression ou la caractéristique du débit circulatoire » (1). Ceci laisserait entendre que les variations de la pression moyenne s'accompagnent obligatoirement de variations de débit dans un sens connu. Il convient de distinguer soigneusement les notions de pression, de débit et, nous le verrons plus loin, d'énergie.

Le débit dépend à la fois d'une charge et d'un diamètre. Cela nous permet de comprendre :

que la pression moyenne puisse être augmentée ou normale :

1° en même temps que le débit s'exagère (2) (c'est le cas dans l'effort chez un athlète normal);

2° à titre de compensation d'une sclérose locale pour maintenir normale l'irrigation (2) (c'est le cas d'un hypertendu par néphrite interstitielle avec débit urinaire non modifié);

3° et ne pas réussir à empêcher le débit de décroître (2) (c'est le cas de l'hypertendu atteint de gangrène sèche) (3);

(1) Thèse pages 97 et 102.

(2) Localement, bien entendu dans les exemples choisis. Mais on conçoit le cas général par analogie.

(3) Evidemment il s'agit de la pression prise en amont de la sténose et non en aval d'elle.

Quand on observe une baisse de pression avec réduction de

qu'elle puisse de même être abaissée :

1° avec chute du débit (au cours d'une défaillance cardiaque);

2° avec un débit conservé ou même exagéré (au cours de la crise de défervescence d'un accès palustre par exemple).

En proposant en 1926 le rapport
$$\frac{My - Mn}{Mx - My} = S$$

Dodel entend définir une caractéristique, soit des lésions d'insuffisance aortique, soit de la perte de l'élasticité normale des tuniques artérielles, et non pas un indice de débit comme on le lui a fait dire. En dépit de son intérêt, ce rapport S ne saurait pas représenter non plus la force de l'ondée pulsatile ainsi que le voudrait son auteur.

Il y a plus à retenir, physiologiquement parlant, des travaux de Pachon relatifs à la recherche d'un indice circulatoire, bien qu'ils ne soient eux-mêmes pas à l'abri de certaines causes d'erreur. Ils montrent sans doute l'existence d'une relation entre My et Mn :

$$\frac{My - Mn}{Mn} \cdot \frac{V_o}{V} = X,$$

lorsque les résistances variant dans un circuit donné, une pompe déterminée y maintient un débit constant. Ils indiquent même le sens des variations du débit si l'harmonie s'altère entre Mn et My , ce qui est seul intéressant pour la clinique. Ils ne chiffrent pas une valeur du débit. Mais surtout, les relations ne valent que pour une forme de pulsation déterminée (condition raisonnable en biologie, quoique inadmissible en physique) et

l'amplitude du pouls sur un membre atteint d'artérite, c'est qu'un rétrécissement siège en deçà et ce fait trouve pour nous une explication simple dans

- l'accroissement de la perte de charge due à l'étranglement,
- l'amortissement exagéré des ondes d'ébranlement.

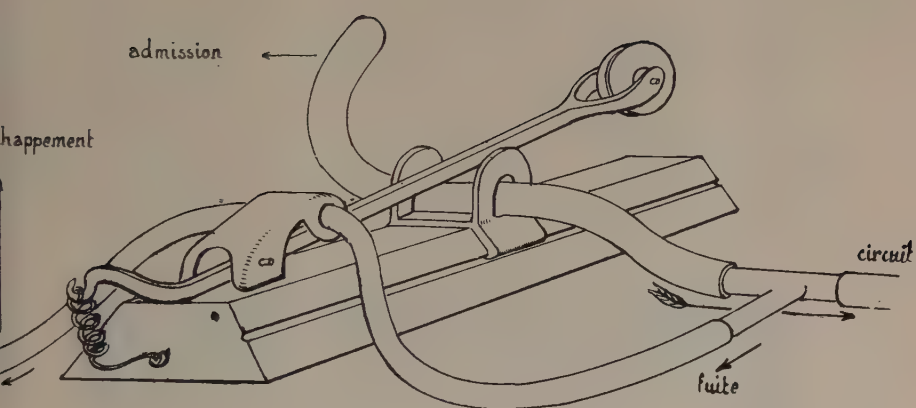


Fig. 7. — Dispositif schématisant la fuite diastolique.

se trouvent erronées en cas d'un reflux (insuffisance aortique) pendant lequel la pression se maintient, tandis que la dépense change de sens.

Plus exactement encore, il est facile de démontrer que si l'on entretient une pression moyenne déterminée à l'origine d'un circuit connu, la dépense n'y variera pas du fait d'un abaissement de la seule pression minima créé par une fuite diastolique, cependant que l'évaluation du débit d'après la formule de Pachon se trouvera faussée par excès.

Reprenons le dispositif expérimental qui nous permet d'obtenir un courant hydraulique sous pressions rythmées. Etablissons en amont des appareils enregistreurs une dérivation dont le conduit d'échappement, élastique, passe sur le levier modulateur de telle sorte qu'il se trouve écrasé pendant la systole et béant pendant la diastole (fig. 7). Ainsi se trouve réalisé un schéma de l'insuffisance sigmoïdienne avec ses conséquences.

L'appareil mis en marche, nous enregistrons la courbe des pressions, mesurons le débit du circuit de distribution et repérons la pression moyenne. Puis, le dispositif au repos, nous évaluons la hauteur de la pression minima inscrite sur la courbe par comparaison avec le manomètre à mercure en fonctionnement statique. Nous

$$\text{calculons alors } X = \frac{M_y - M_n}{M_n}.$$

Dans le deuxième temps de l'expérience, nous supprimons la fuite diastolique à l'aide d'une pince placée sur le conduit d'échappement. Sans rien changer au reste du circuit, nous réglons alors l'admission du liquide de manière à rétablir la même pression moyenne que précédemment.

La courbe de la pulsation se transforme d'une façon sensible. Nous évaluons le débit et la hauteur de la minima comme auparavant.

Voici les résultats obtenus au cours de deux groupes d'expériences.

Expé- rience	Circuit	My	Mn	Débit	$X = \frac{My - Mn}{Mn}$
I	Fuite diastolique	8,6	7,2	0,34	0,194
	Circuit étanche.	8,6	7,6	0,34	0,132
II	Fuite diastolique	11	9,2	0,43	0,196
	Circuit étanche.	11	10,2	0,43	0,078

Il n'est point nécessaire de multiplier les exemples. Plus la minima sera basse relativement à la pression moyenne, plus la valeur de X sera grande sans qu'il y ait cependant pour une même pression moyenne, si rien n'a été modifié dans le circuit de distribution, une variation quelconque de la dépense. C'est bien dire en

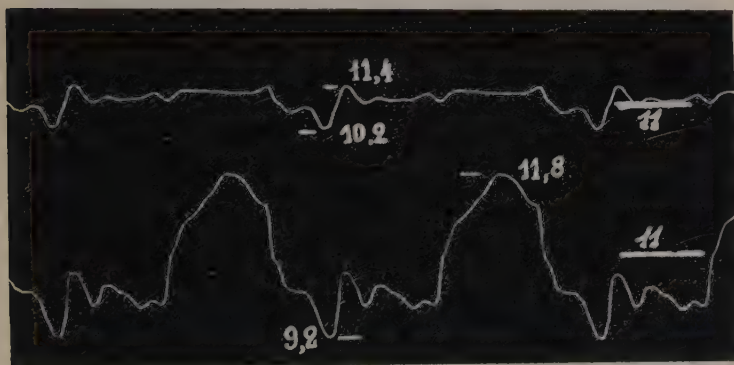


Fig. 8. — Exp. II relative à l'étude de $X = \frac{My - Mn}{Mn}$

d'autres termes, que l'indice circulatoire de Pachon surestime la valeur du débit en cas d'incontinence sigmoïdienne. Et l'expérimentation confirme ce que la clinique avait déjà énoncé.

Les mêmes remarques s'appliquent à la relation $(My - Mn) Mn = K$ établie pour une pompe de puis-
sance variable débitant dans une conduite fixe.

Nous avons réalisé la série d'observations suivante.

Dans un circuit connu, constitué par 3 m. de tube en feuille anglaise et pourvu, vers sa terminaison, du dispositif capillaire décrit plus haut, nous établissons un écoulement rythmé, enregistrons la courbe des pressions, notons la tension moyenne et évaluons le débit. Nous répétons l'expérience en faisant varier l'appui du levier de notre système d'admission interrompue de manière à modifier la forme du tracé pulsatoire; nous réglons cependant la pression moyenne au même niveau qu'antérieurement à l'aide de la pince à vis qui commande l'arrivée du liquide. Le débit est noté, le pouls enregistré. Dans chaque cas, la valeur de la minima est obtenue en comparant l'indication du sphymographe, au point le plus bas de la courbe, avec la lecture du manomètre à mercure au repos.

Les résultats se lisent dans le tableau ci-dessous où nous avons calculé la valeur de K , pour chaque expérience, d'après la formule $K = Mn (My - Mn)$.

Expérience	My	Mn	Débit	$K = Mn (My - Mn)$
1	11,2	9,8	0,46	13,72
2	11	8,8	0,45	19,36
3	11,4	10,8	0,46	6,48

Il est aisé de constater que le débit demeure sensiblement constant d'une expérience à l'autre tandis que la valeur de K subit des variations fort importantes. C'est bien la preuve que la forme de la pulsation qui seule a changé dans les différents cas ne saurait être négligée dans l'application de la formule

$$(My - Mn) Mn = K$$

Mais que faut-il dès lors penser de la notion d'un indice circulatoire ?

Sans doute, elle suppose que les problèmes de l'hémodynamique puissent se traiter comme des questions

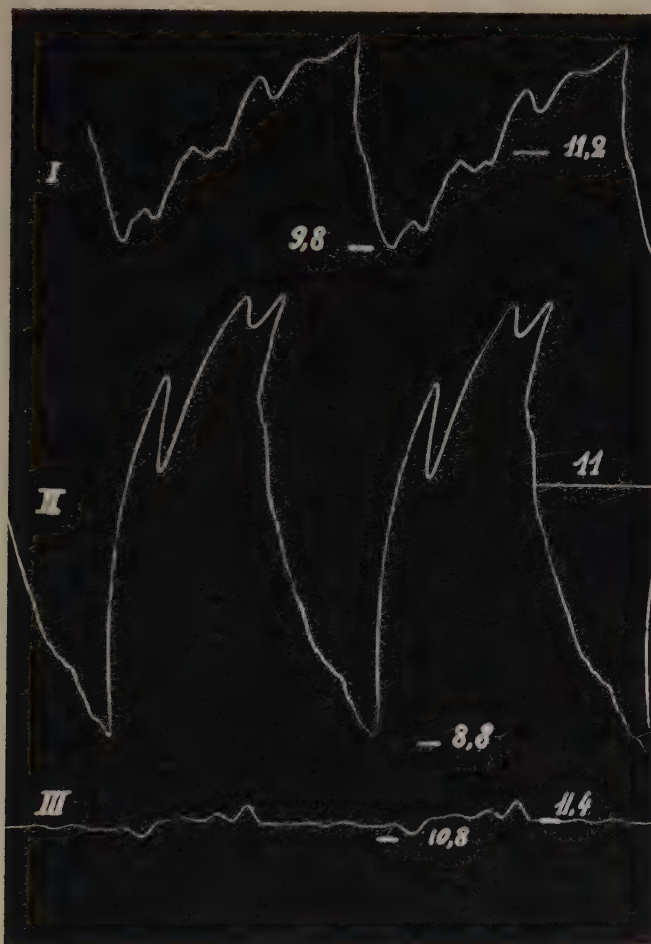


Fig. 9. — Expériences relatives à l'étude de $K = Mn$ (My—Mn).

d'hydraulique élémentaire et nombreux sont les auteurs qui pensent avec MM. Villaret, Justin Bezançon et Ca-

chera (1) que la simple mesure de la pression artérielle au niveau d'une grosse artère est insuffisante pour renseigner le physiologiste ou le médecin sur l'ensemble de la circulation et sur l'état de celle-ci dans un territoire quelconque, car il n'y a pas un régime vasculaire uniforme, mais une grande variété de régimes circulatoires locaux.

Il ne faudrait cependant pas pousser trop loin les conséquences des dissociations tensionnelles régionales et donner à des découvertes assez neuves le pas sur les faits bien observés qui accordent (dans l'état actuel de nos connaissances) une part prépondérante au muscle cardiaque dans la mobilisation du sang à l'intérieur des vaisseaux.

Employées avec ces correctifs que la forme du pouls est restée invariable chez le sujet étudié (et il est facile en général de s'en assurer) d'une part, et que d'autre part il n'existe aucun vice valvulaire capable de permettre un reflux diastolique (ce que décèle sans peine l'auscultation), les lois énoncées par Pachon gardent une valeur entière. Elles n'en impliquent pas moins la nécessité de connaître d'une façon précise les conditions d'application que seul peut fournir le contexte clinique.

*
* *

Or, si la pression moyenne, sans le secours d'autres données ne nous renseigne pas sur l'irrigation des tissus, peut-être, alliée à la mesure d'un débit (soit par la méthode du pouls-oxygène d'Henderson, soit par la méthode d'inhalation de gaz tels que anhydride carbonique, protoxyde d'azote ou iodure d'éthyle, imaginée par Fick et mise en pratique par Grehant, Luntz, Henderson et Price, Binet, Bouthillier ou bien encore par la ré-

(1) *Revue Médicale Française*. Avril 1932.

cente méthode thermique de Rein modifiée par Herrick et Baldes), donnera-t-elle une appréciation sur le travail du cœur ?

Le travail d'un liquide en mouvement est une grandeur théorique qui s'évalue par le produit de la dépense et de la charge totale (1). C'est dire que la puissance de l'organe propulseur de la grande circulation, le ventricule gauche (2), a pour mesure à chaque instant (en négligeant la force vive due à la systole; mais celle-ci est restituée en grande partie à la diastole) le produit du débit aortique par l'excès de la pression *ventriculaire* sur la pression à l'extrémité auriculaire des veines caves. Cette dernière très petite en moyenne, peut être regardée comme nulle.

Nous remarquons d'abord qu'une telle définition met en jeu une pression supérieure à la pression *aortique* de cette perte de charge spéciale qui n'est autre que la hauteur de vitesse et qu'aucune mesure clinique ne permet d'apprécier (3) et que, secondairement, elle se rapporte à une quantité essentiellement variable.

La puissance moyenne devrait donc être évaluée à l'aide d'une courbe donnant les pressions à l'origine en fonction de la dépense et sur le plan de laquelle les surfaces représentent des travaux. Marey a bien fixé dès longtemps le principe de l'inscription d'une telle

(1) Nous ne saurions nous étonner de voir un clinicien averti comme C. Lian observer avec une belle indépendance scientifique qu'il n'y a pas de parallélisme entre la tension moyenne et les variations de travail du cœur qui apparaissent à l'évidence au cours de l'effort et dans les diverses cardiopathies. Cet auteur n'insiste d'ailleurs pas sur la cause du non parallélisme. Elle est simplement dans la négligence du débit.

(2) On raisonnera de même pour le ventricule droit et les oreillettes.

(3) Il est néanmoins possible d'estimer l'ordre de grandeur de cette perte de charge, eu égard à la vitesse moyenne du sang dans la crosse aortique. Elle serait théoriquement de quelques centimètres d'eau.

courbe; mais celle-ci demeure d'une réalisation difficile en physiologie et impossible en clinique.

Il reste donc indirectement la faculté de déterminer la puissance moyenne du ventricule gauche en application d'un postulat encore dû à Marey et selon lequel deux charges qui réalisent le même débit, pendant le même temps, dans le même circuit, effectuent le même travail contre les mêmes résistances.

Pouvons-nous donc écrire que la puissance moyenne est le produit du débit moyen par la pression moyenne aortique (encore qu'on n'ait pas à mesurer celle-ci directement (1) ?

En réalité, ceci n'a aucun caractère de rigueur. On sait en physique (2) que l'énergie dépensée pour obtenir un certain effet en régime variable est supérieure à l'énergie nécessaire en régime permanent. C'est ainsi d'ailleurs qu'en modérant les écarts de pression, l'élasticité artérielle augmente le rendement (3) cardiaque et que celui-ci est très abaissé quand les vaisseaux sont sclérosés.

Dont il résulte qu'en calculant le travail du cœur (ou plutôt sa puissance moyenne) à l'aide du débit moyen et de la pression moyenne, on obtient une valeur suffisamment approchée sans doute pour les besoins de la clinique, mais certainement inférieure à celle de la puissance réelle.

(1) Il est des cas où manifestement la proposition est erronée. Ainsi, lorsqu'il existe un reflux diastolique ou une fuite systolique abaissant la dépense, le calcul donne une valeur très inférieure au travail effectivement accompli par le ventricule, mobilisant un volume supérieur à celui qui franchit le réseau de distribution. C'est ce qu'a fort bien compris Fontan (1931).

(2) Bien que le problème soit encore mal étudié (Weiss, loc. cit.).

(3) Mais ne diminue pas les résistances comme le croyait Marey (Bouasse loc. cit.).

CONCLUSION

En résumé, au cours de ce chapitre où la rigueur du raisonnement nous a contraint d'introduire plus de physique et de calcul que nous ne l'aurions souhaité, nous avons désiré bien montrer :

— Qu'il est possible de concevoir une valeur théorique de la pression artérielle qui synthétise le régime des variations de celle-ci dans le temps. C'est la pression moyenne au sens propre du mot ou encore la pression de moyen régime. Elle est obtenue par la lecture du manomètre compensateur.

— Qu'il existe en un point quelconque d'un circuit déterminé où s'écoule un liquide (de l'eau par exemple) sous un cycle de pressions variées, une pression qui, maintenue à un niveau fixe, voit s'effectuer une dépense égale à celle qui se trouve réalisée pendant le même temps, dans le même circuit, sous la pression rythmée du régime périodique. C'est la pression de moyen débit.

— Que la pression de moyen régime et la pression de moyen débit sont, dans des conduits purement élastiques, expérimentalement et pratiquement égales.

Que cette même pression semble répondre encore au travail moyen accompli dans un temps donné par le liquide circulant dans les mêmes conditions à travers son réseau de distribution.

Et ainsi, pression de moyen régime manifestement, pression de moyen débit approximativement et pression de moyenne puissance par le jeu d'hypothèses accessoires, trois aspects différents de la pression repérée par le manomètre de Marey qui ne saurait cependant être considérée en elle-même que comme une *pression*.

Dire (1) que la tension moyenne est avant tout une affaire vasculaire c'est négliger un aspect important de la question.

Penser (2) qu'elle est une affaire cardiaque, c'est en omettre volontairement un autre.

La pression moyenne représente, au point de vue physique, aussi bien l'effort continu dans ses variations auquel sont soumis le système artériel et les organes, en raison de la circulation, que l'effort moyen soutenu par le cœur (3).

Quant aux lumières qu'elle nous apporte au point de vue clinique, nous croyons qu'il serait prématuré à l'heure présente d'émettre une opinion à ce sujet. Son déterminisme qui est celui de toute pression artérielle, apparaît trop complexe pour permettre des interprétations simples (4). En telle matière, le langage des chiffres est d'autant plus dangereux qu'on ignore à quoi ils se rapportent. Ce n'est qu'après d'amples moissons de documents impartialement recueillis et une expérimentation patiente, bien mieux qu'avec des conceptions théoriques, que ce symptôme qu'est la valeur de la pression moyenne s'intégrera dans les schémas sémiologiques et y prendra sa véritable signification.

(1) J. Sedillot. *Société de Médecine de Paris*, 27 février 1932.

(2) H. Vaquez, D. M. Gomez, R. Lajoie. *Presse Médicale*, 21 octobre 1931.

(3) Nous ne pouvons vraiment souscrire, après cela, aux opinions formelles de Van Dooren pour qui la pression moyenne ne « correspond à rien d'explicable » et qu'il « est impossible de justifier ».

(4) Sinon simplistes (Mauriac, *Presse Médicale*, n° 48, année 1932).

CHAPITRE III

LES PROCÉDÉS DE MESURE ET LES APPAREILS

Dans tout ce qui précède, il a été question de la pression artérielle moyenne considérée comme une pression statique définie dont le physicien a connaissance par la lecture d'un manomètre amorti, branché sur la canalisation explorée et que le physiologiste peut obtenir à l'aide du même appareil au prix d'une intervention sanglante et de l'introduction d'une canule dans une artère.

Nous nous proposons maintenant de passer en revue les moyens qui ont été imaginés pour effectuer en clinique la mesure de cette pression.

Les uns sont *directs* et comportent la ponction d'un vaisseau :

- soit l'artère (procédé immédiat),
- soit la veine (procédé médiat)

ou simplement la compression du membre (procédé médiat).

Les autres, *indirects*, s'appuient

- soit sur le calcul et déterminent la pression artérielle moyenne à partir d'une courbe pulsatoire répondant ou bien à des pressions artérielles vraies dans

un tronc vasculaire cathétérisé, ou bien à des pressions estimées en fonction de l'expansion de la paroi de l'artère notée à travers les téguments.

— soit sur l'étude de la courbe des oscillations que subit l'aiguille du manomètre spécial de Pachon, courbe enregistrée ou construite en fonction des compressions exercées par la manchette pneumatique de l'appareil. C'est l'oscillographie. Nous lui réservons un chapitre de ce travail, en raison de l'importance que la pratique universelle lui a fait prendre.

Ce procédé comporte une variante : l'auscultation de l'artère au-dessous du brassard compresseur.



Avant d'entrer dans le sujet, nous voudrions dire un mot de ce que l'on pourrait appeler la querelle des manomètres (1). Tandis que l'emploi des instruments anéroïdes se généralise, certains auteurs entendent rester fidèles aux tubes à mercure. La question ne saurait souffrir de longues discussions. Sans doute, en matière de pressions, la colonne de mercure est pour le physicien un terme commode de référence. Mais il ne faut pas oublier qu'un chiffre brut de hauteur piézométrique n'offre qu'une précision encore très relative. Bien des praticiens ont une faible idée des artifices que demande une lecture barométrique convenable et des corrections qu'il faut lui faire subir pour atteindre une approximation de 1/100. D'autre part, un manomètre à mercure, fût-il construit avec l'ingéniosité de celui de M. Ménard, demeure d'une fragilité et d'un encombrement qui en rendent l'emploi incommode en clinique.

(1) Il est bien entendu qu'il ne s'agit pas de mesurer ici des pressions rapidement variables. L'inertie des appareils est hors de cause.

Il n'y a vraiment aucune raison sérieuse de jeter l'interdit sur les manomètres métalliques. A condition d'exiger d'eux qu'ils soient étalonnés correctement, ils constituent un type d'instruments pratiques, maniables et dont la précision est amplement suffisante pour les besoins des recherches courantes.

Les procédés directs immédiats.

Il est évidemment possible, à l'occasion d'interventions chirurgicales comportant le sacrifice d'un membre ou la ligature définitive des vaisseaux, de mettre directement une artère en relation avec un manomètre. Mais ce sont là des techniques d'exception et qui n'ont pu fournir qu'un très petit nombre de données.

Le premier qui les ait utilisées semble avoir été Faivre.

Elles n'ont guère été employées par la suite que pour vérifier les critères indirects de tension suggérés par d'autres méthodes.

O. Muller et Blauel en Allemagne d'une part (1907), Dehon, Dubus et Heitz en France d'autre part (1912), cherchant à contrôler les travaux de Marey sur la coïncidence de l'indice oscillométrique avec la minima, introduisent un manomètre à mercure dans l'artère. Mais, pour éviter les grandes oscillations que l'inertie du métal produisait dans la colonne liquide, les auteurs français étranglent celle-ci en un point. Ils réalisent ainsi un manomètre sensiblement compensé et mesurent à leur insu la pression moyenne.

Les recherches de Pachon (1921) ayant dépossédé, au profit de la pression moyenne, la minima du privilège de produire l'oscillation maxima, Boucomont (1932) avec le Professeur Dodel répète sur deux malades du service du Professeur Piollet (Clinique chirurgicale de l'Ecole de Médecine de Clermont-Ferrand) les expérien-

ces de contrôle entreprises peu auparavant par Vaquez sur l'animal avec un manomètre à mercure amorti.

Mais la méthode appliquée dans tous ces cas ne pouvait être appelée à aucun avenir pratique, à cause même des circonstances de son emploi.

Van Bogaert, en 1933, eut le mérite de rendre la détermination directe et immédiate de la pression moyenne accessible en principe aux nécessités de la clinique.

L'hémodynamomètre.

Sous le nom d'hémodynamomètre, il nous apporte une simple capsule anéroïde enfermée dans un boîtier muni de deux tubulures. Une seringue permet, par aspiration, de remplir le boîtier de liquide anticoagulant, solution de novarsénobenzol à 15 p. 1.000. L'appareil est uni par un tube de caoutchouc, long de 25 cm., à une aiguille de 9/10 de mm. dont le calibre joue le rôle de la stricture du manomètre compensateur de Marey et que l'on pique dans la lumière de l'artère à explorer. Dès que l'aiguille est en place, l'index du manomètre s'élève très rapidement par saccades jusqu'à un chiffre stable autour duquel il oscille. Le manomètre étant maintenu dans le plan horizontal du vaisseau ponctionné, on ferme progressivement un robinet situé sur la tubulure de jonction pour achever d'amortir les oscillations. On obtient alors très simplement et par lecture directe le chiffre de la pression artérielle moyenne.

Dans la pratique courante, nous avons pu nous dispenser d'employer du liquide anticoagulant, le temps nécessaire pour faire une simple mesure étant assez court et l'amortissement des systoles suffisant avec une aiguille de 7/10 à 8/10. On évite l'introduction de sang dans le boîtier du manomètre (nous avons utilisé celui de l'appareil de Vaquez-Laubry) en interposant entre l'aiguille et lui une tubulure assez longue (30 à 40 cm.).

L'avantage de la méthode directe, telle qu'elle est réalisée par le procédé de Van Bogaert, apparaît nettement sur toute autre méthode. Précision et rigueur sont ses caractéristiques. N'apportant aucune modification appréciable à la circulation, elle donne le niveau véritable de la pression moyenne de régime au point exploré. Elle mérite par conséquent d'être considérée comme la méthode de choix, de contrôle ou de référence pour l'étude de la pression artérielle moyenne en clinique et même au laboratoire.

Malgré ces éléments de supériorité, la méthode des ponctions d'artère voit ses indications encore limitées. Elle comporte une petite intervention à laquelle le médecin praticien n'est pas entraîné et que la pusillanimité de bien des malades fera rejeter en clientèle.

Aussi a-t-on cherché d'autres procédés pour mesurer directement la tension artérielle moyenne.

Le procédé direct médiat par ponction de veine.

Dans un travail récent, A.-G. Tetelbaum, M.-I. Krinsky et O.-F. Romanowa (1) se sont efforcés de montrer comment la recherche de la pression veineuse pourrait constituer dans des conditions définies une méthode exacte de détermination de la pression artérielle moyenne.

Mesurant la pression qui s'établit dans les veines d'un membre progressivement comprimé au point d'éteindre le pouls, ils estiment, toute question de résistance des parois vasculaires mise à part, que le bout distal de la veine explorée réalise une sorte de manomètre amorti naturel indiquant la pression artérielle moyenne. Ils pensent que le système capillaire de l'hom-

(1) *Presse Médicale*, 30 décembre 1933.

me même constitue, dans le cas proposé, un dispositif frénateur analogue au rétrécissement du manomètre de Marey.

Frappé de l'élégance de la méthode et de la logique apparente de son principe, il nous a paru intéressant de vérifier l'exactitude de ses résultats. Ceux-ci, malheureusement, n'ont pas répondu à notre attente.

Tetelbaum, Krinsky et Romanowa, en effet, appréciaient la pression maxima par le procédé de Riva-Rocci ou par celui de Korotkow, puis compriment le membre étudié à un degré inférieur de 1 cm. de mercure à la maxima. Ils comparent ensuite la pression veineuse obtenue au-dessous du brassard compresseur avec la pression artérielle maxima et trouvent celle-là toujours inférieure à celle-ci.

Il restait à prouver que la valeur de la pression veineuse ainsi déterminée était expérimentalement la valeur même de la pression artérielle moyenne.

C'est ce que nous avons entrepris de contrôler.

Avant de rapporter des expériences, nous devons indiquer une légère modification qu'il nous a semblé commode d'apporter à l'appareillage de Tetelbaum et de ses collaborateurs afin de rendre les déterminations expérimentales aussi simples que possible.

En nous inspirant des travaux de Van Bogaert sur le repérage direct de la pression artérielle moyenne, nous utilisons la transmission par l'air à un manomètre métallique ordinaire (celui d'un tensiomètre de Vaquez-Laubry) de la pression recueillie dans la veine explorée à l'aide d'une aiguille de calibre assez fort (à ponction lombaire ou vétérinaire). Nous avons seulement soin de maintenir le tube reliant l'aiguille au manomètre horizontalement au niveau même de l'orifice de phlébotomie. Ainsi est évitée toute erreur due à une dénivellation du sang dans le conduit et susceptible de s'ajouter

au chiffre lu sur le manomètre si le conduit est incliné vers le bas, de se retrancher de lui au cas contraire. Quant aux coagulations, elles ne se produisent pas assez rapidement pour fausser une expérience qui peut être conduite en une à deux minutes. Nous pouvons donc nous dispenser de l'usage du sérum isotonique qui complique le dispositif manométrique de Tetelbaum, Krinsky et Romanowa.

La pression moyenne du sang dans l'artère principale du membre est mesurée par les mêmes procédés, avec les mêmes précautions, en utilisant une aiguille de plus fin calibre et un manomètre rigoureusement identique au premier dans ses indications.

Dans une première série d'expériences que l'obligeance inépuisable de notre ami le Docteur E. Curtillet, Chef de Clinique à la Faculté, nous a permis de mener à bien sur l'animal au laboratoire de Chirurgie expérimentale du Service de notre Maître M. le Professeur Costantini, nous avons observé ce qui suit :

Obs. A. — Chien de 15 kg narcosé à l'éther, couché horizontalement sur le dos. Une manchette pneumatique est posée sur la patte postérieure gauche à mi-cuisse. L'artère fémorale est découverte au-dessus par une incision longitudinale, ponctionnée à l'aide d'une aiguille de 6 à 7 dixièmes de millimètre dirigée vers l'amont. La pression moyenne lue directement au manomètre est de 12 cm. de mercure.

La veine fémorale, dénudée au-dessous de la manchette, reçoit une aiguille vétérinaire dirigée vers l'extrémité distale du membre. En comprimant très progressivement la manchette, on obtient une pression veineuse de 10 cm. de mercure que l'on ne peut dépasser. Il faut pour l'atteindre une compression de l'ordre de 25 cm. de mercure.

Obs. B. — Chien de 23 kg. Mêmes conditions. On opère sur la patte postérieure droite. La manchette est placée immédiatement au-dessus de l'articulation du genou. On découvre l'artère fémorale à la racine du membre et une veine de l'extrémité de la patte. Ici encore, la pression veineuse (6 cm) demeure, quelle que soit la compression exercée, notablement inférieure à la pression artérielle moyenne (14).

Dans les deux cas, nous nous sommes assurés qu'aucune coagulation n'avait pu troubler l'expérience.

Supposant que des conditions anatomiques particulières se trouvaient réunies chez le Chien, et dont nous discuterons plus loin le rôle probable dans la production de ces faits, nous avons étendu à l'Homme notre champ d'expérience, grâce à l'accueil si bienveillant que le sujet de nos recherches — et nous-même — avons rencontré auprès de notre Maître le Docteur P. Goinard qui a bien voulu nous offrir de mettre la question à l'étude dans son propre service.

Au cours d'une douzaine d'interventions artérielles, la pression moyenne dans une artère et la pression dans la veine satellite ont été mesurées simultanément par ponction, un brassard pneumatique interrompant la circulation de retour.

Jamais la pression dans la veine ne fut la même que dans l'artère. Inférieure le plus souvent, peu ou beaucoup, elle a été parfois, paradoxalement en apparence, supérieure. Voici des exemples de l'un et l'autre cas.

Obs. XI. — Européen de 65 ans. Gangrène parcellaire du cinquième doigt. La courbe oscillométrique au bras donne selon les critères de Pachon :

$Mx = 15$ $Mn = 8$ Indice : 8

Incision pour sympathectomie périartérielle. Ponction de l'artère humérale au pli du coude. Tension moyenne: 9,5 cm de mercure. Ponction de la veine satellite. L'aiguille du manomètre monte à 8 1/4 cm de mercure pour une pression de 12 cm de mercure dans le brassard. Mais à ce moment la pression dans l'artère (au-dessous du brassard) est montée à 10 3/4.

Obs. X. — Européen de 56 ans. Arthrite chronique non tuberculeuse de la hanche gauche. Courbe oscillométrique au tiers inférieur de la cuisse : $Mx=23$; $Mn=14$; Indice 8.

Incision poplitée pour sympathectomie périartérielle.

Ponction de l'artère poplitée. Tension moyenne: 8 cm de mercure. Ponction de la veine satellite: 10 cm de mercure pour une compression de 20 cm de mercure. Mais à ce moment la pression dans l'artère atteint 11.

Enfin, la technique médicale des ponctions artérielle et veineuse sans incision, nous a donné aussi des chiffres discordants.

Indigène de 25 ans. Paralyse radiale avec troubles sympathiques après intoxication oxycarbonée. Ponction artérielle au pli du coude. Pression moyenne: 6,6 cm. de mercure. Compression du bras laissant filtrer seulement le sommet systolique des pulsations; ponction dans une veine de l'avant-bras: pression 7,2 cm. de mercure (Curtillet et Bardenat).

Tels sont les faits. L'enseignement immédiat qui s'en dégage est que la pression veineuse obtenue dans le bout distal d'une veine systématiquement comprimée ne devient pas égale, pour un écrasement donné, à la pression moyenne mesurée dans l'artère correspondante par des procédés aussi parfaitement fidèles que le cathétérisme de ce vaisseau.

Nous croyons que nos observations permettent même de comprendre les causes essentielles de la discordance entre les chiffres constatés.

Dans un premier groupe de cas, en effet, la pression veineuse demeure inférieure à la pression artérielle moyenne. Une explication simple se présente à l'esprit: l'oblitération de la circulation de retour est imparfaite; l'existence d'une fuite empêche la tension veineuse d'atteindre le niveau de la pression artérielle moyenne. C'est ce qui semble se produire en particulier chez le Chien. La conformation aplatie du membre empêche le brassard d'exercer une étreinte uniforme. Si cette cause d'erreur n'est pas à retenir en clinique, il n'est pas moins certain que la totalité des veines n'est pas intéressée par une compression circulaire de l'ordre de grandeur de la pression artérielle moyenne.

Dans un deuxième groupe de cas, la pression veineuse parvient à dépasser la pression artérielle moyenne mesurée avant le gonflement de la manchette. Le fait paraît

un peu surprenant et l'on pourrait être tenté de penser que la compression du brassard, ayant excédé le niveau optimum, élève la tension dans le système clos réalisé en aval du garrot. Il n'en est rien, car la pression veineuse cesse de croître dès qu'elle arrive à une certaine valeur, et cela, si importante que devienne la compression exercée sur le membre.

Ce que l'on observe par contre en toute certitude, c'est l'ascension de la pression artérielle moyenne au-dessous du brassard pendant la compression. Nous l'avons noté dans les protocoles X et XI. En voici un autre exemple :

Chez un indigène de 60 ans, atteint de plaie atone de la jambe, la pression moyenne mesurée par ponction de la poplitée est de 10 cm. de mercure. En faisant varier la compression dans un brassard au tiers inférieur de la cuisse, on fait monter progressivement la pression moyenne dans l'artère jusqu'à 15 1/2 par une compression de 24 cm., chiffre à partir duquel la pression retombe rapidement à 5.

On remarque en outre que pour une compression de 1 cm., inférieure à cette compression limite, la pression moyenne mesurée par ponction de l'artère est de 15, et combien par conséquent elle est surestimée par rapport à sa valeur réelle 10.

Le phénomène n'est paradoxal qu'en apparence.

On sait, en effet, que la pression artérielle moyenne en un point est un terme du conflit qui existe entre les ondes sanguines venant d'amont et les résistances opposées par le système à l'écoulement. Or, dans les conditions d'expérience où nous nous plaçons, ces deux facteurs conjuguent leurs influences. D'une part, le barrage réalisé sur le conduit veineux crée un obstacle à l'évacuation du réseau vasculaire. D'autre part, la compression exercée sur le membre — et qui doit être, en pratique, voisine de la pression maxima — porte également sur l'artère. Elle ne laisse filtrer sous le brassard que la partie supérieure de l'onde pulsatile; et c'est cette

onde partielle dont la pression moyenne est évidemment plus élevée que celle de l'onde totale qui, se heurtant à des résistances exagérées, va régir la pression du lac sanguin sous-jacent au brassard (1).

Il y a tout lieu de supposer que les deux causes d'erreur que nous venons d'analyser coexistent en général. Et ainsi, selon la prédominance de chacune, le maximum de la pression veineuse s'écartera par excès ou par défaut de la pression artérielle moyenne.

En résumé, l'étude comparative de la pression artérielle moyenne et de la pression veineuse qui s'établit dans un segment de membre comprimé ne nous permet pas de considérer la méthode de Tetelbaum, Krinsky et Romanowa comme un procédé clinique exact pour mesurer la pression artérielle moyenne. Quelque séduisante que paraisse la théorie, les résultats sont faussés par des facteurs dont les variations individuelles ne laissent pas la possibilité d'introduire un terme correctif.

Les procédés directs médiats

par compression.

Une très bonne étude en a été faite par Mlle Hennequin dans sa thèse (1931).

Cet auteur utilise un manomètre à mercure renouvelé de l'instrument de Setschenow (1861) qui peut être amorti à la volonté de l'expérimentateur par la manœu-

(1) Cette notion nous rend compte de ce qu'il y aurait encore d'arbitraire dans la technique de Tetelbaum à comprimer la manchette à un chiffre déterminé (en admettant l'obstruction veineuse absolue).

Voir également sur ce sujet l'interprétation de Pezzi relative à l'ascension de la maxima en aval du brassard (*Biologie* LXXX 1913).

vre d'un robinet coupant la colonne liquide et y créant un rétrécissement à la manière de Marey, mais réglable.

Le manomètre est mis en relation avec une manchette entourant le membre dans l'artère principale duquel on désire connaître la pression (1). On produit dans ce système clos une pression progressive jusqu'à obtenir les oscillations les plus grandes de la colonne mercurielle. Il suffit à ce moment de faire jouer le robinet de l'appareil pour éteindre les pulsations.

Le chiffre lu directement donnerait la valeur de la contre-pression équilibrant la pression artérielle moyenne et qui lui est par conséquent égale.

Ce procédé destiné, dans l'esprit de l'auteur, à lever l'ambiguïté que présente la détermination de la pression moyenne par la méthode oscillographique en cas de courbes en plateau se rattache étroitement à l'oscillographie. Il est donc passible des mêmes critiques que nous formulerons plus loin à l'égard de celle-ci. Comme elle, il postule que la contre-pression exercée autour de l'artère permet la plus forte amplitude de battement aux parois du vaisseau lorsqu'elle balance exactement la pression moyenne intérieure.

Il n'y a là, somme toute, qu'un ingénieux moyen de mesurer cette contre-pression privilégiée.

Une autre méthode, plus ancienne, est basée sur un principe analogue. On la doit à Hürtle.

Anémiant le plus complètement possible un membre à l'aide d'une bande d'Esmarch, on le place dans un pléthysmographe rempli d'eau et relié à un manomètre à mercure.

Quand on lâche le garrot, le sang pénètre à nouveau dans les vaisseaux et augmente le volume du membre.

(1) La manchette est remplie d'eau et unie directement au manomètre par le liquide. On obtient ainsi des oscillations plus marquées qu'avec une transmission aérienne.

Il en résulte à l'intérieur de l'appareil une élévation de pression graduelle qui finalement fait équilibre à celle du sang dans les artères. Le niveau manométrique mesurerait (à la compressibilité des tissus près, mais celle-ci est généralement négligée) la pression artérielle.

Il est facile de se rendre compte que, dans cette technique, la section du tube manométrique intervient directement dans le retentissement de l'accroissement de volume sur la dénivellation du piézomètre. Et ainsi, suivant le calibre du tube, en allant du plus large au plus étroit, on peut obtenir des pressions échelonnées de zéro jusqu'à la maxima. On ne doit donc espérer en rien mesurer la pression artérielle moyenne par un tel procédé.

Les procédés indirects par le calcul.

Ils consistent tous, dans leur principe, à fixer la hauteur de la pression moyenne sur une courbe des pulsations.

Nous avons vu au cours du précédent chapitre en quoi ce principe est légitime et théoriquement correct.

Mais les réalisations diffèrent suivant la façon dont les auteurs enregistrent leurs sphygmogrammes.

On peut ranger les techniques en deux groupes.

Dans le premier, la paroi artérielle est interposée entre le sang et l'appareil inscripteur. Celui-ci trace des ordonnées qui sont fonction d'un diamètre du vaisseau ou du volume d'un segment connu. Aucune de ces techniques ne donne un tracé exact de la courbe des pressions sanguines en coordonnées cartésiennes. Nous les citerons seulement pour mémoire.

Procédé de Potain.

Chez des sujets présentant un dicrotisme accentué du pouls, Potain, repérant manométriquement la hauteur de la maxima et celle de la pulsation dicrote, parvint à graduer extemporanément un diagramme recueilli avec le sphymographe à ressort de Marey. Evaluant ensuite avec le planimètre d'Amsler deux surfaces limitées par deux ordonnées distantes d'une période et comprises, l'une entre la courbe et la ligne du zéro des abscisses, l'autre entre cette même ligne et la parallèle passant par le sommet de la pulsation, il en déduisait, par une simple proportionnelle, la valeur de la surface répondant à la pression moyenne. D'où la valeur de cette pression par une construction géométrique élémentaire.

Procédé de la manchette oscillographique.

C'est par l'intermédiaire d'un brassard pneumatique que l'on inscrit couramment aujourd'hui en clinique la courbe du pouls. Un tambour dérivé de celui de Marey reçoit les impulsions que transmet un conduit aérien. Une capsule de Pachon-Boulitte est généralement utilisée à son maximum de sensibilité.

Les mesures oscillométriques de M_x et de M_n permettent de graduer le diagramme; et les valeurs relatives des différentes surfaces que l'on veut considérer sont obtenues en découpant celles-ci sur une feuille d'épaisseur uniforme d'une substance homogène et en les pesant.

Dans un second groupe de techniques, la lumière artérielle est en relation directe avec le dispositif métrique choisi.

Remarquons tout de suite que l'emploi de la méthode indirecte ne présente dans ce cas aucun intérêt

pratique puisque la ponction nous permet d'avoir le chiffre de la pression moyenne par la simple lecture d'un manomètre amorti. Mais si l'on tient à évaluer, pour une raison théorique quelconque, la pression moyenne par le calcul, c'est à un appareil du genre de ceux que nous allons décrire qu'il convient de s'adresser.

Appareil de Giroux et Boulitte.

Sous le nom de Boulitographe, les auteurs présentent un pulsographe manométrique d'une sensibilité extrême à enregistrement optique et fonctionnant au voisinage de l'amortissement critique. Le pulsographe dont l'inertie est très faible et l'étalonnage réputé d'une fidélité absolue est relié à une fine aiguille destinée à ponctionner le vaisseau que l'on explore. Ainsi est obtenue une courbe sphygmomanométrique correcte. L'emploi de liquide anticoagulant rend possible une observation aussi longue que l'on veut.

Appareil de Bugnard, Gley et A. Langevin.

Si le Boulitographe représente un gros progrès dans la réalisation industrielle des manomètres classiques, l'appareil dérivé de la technique décrite par P. Langevin et Nocard (1930) est une application d'un principe fort intéressant. Il ne paraît malheureusement pas près d'entrer dans l'arsenal des instruments médicaux.

En introduisant dans la lumière artérielle une canule, on met la colonne sanguine en communication avec une chambre dont une des parois comporte un quartz piézoélectrique. Celui-ci, convenablement orienté, voit apparaître entre ses faces des différences de potentiel proportionnelles aux pressions exercées. Transmettre ces phénomènes galvaniques à un oscillographe

à miroir n'est qu'un jeu pour le physicien qui est dès lors à même d'inscrire en valeur absolue le cycle des pressions régnant dans le vaisseau étudié. L'inertie quasi nulle du dispositif donne la certitude d'un enregistrement d'une fidélité parfaite.

Le procédé indirect par l'auscultation.

M. Kisthinios, pratiquant l'auscultation artérielle en aval d'un brassard pneumatique placé sur un membre, observe, lorsqu'il fait croître progressivement la compression, que les bruits perçus s'amplifient jusqu'à un maximum, puis diminuent graduellement d'intensité. Il fixe le chiffre de la pression moyenne au moment où il entend les tons les plus forts.

J. Barbier avait déjà publié dans sa thèse (1921) toute une série de figures où se superposaient des courbes oscillométriques et des courbes auscultatoires. L'indice coïncide avec les tons les plus intenses. Le critère de Kisthinios ne tend donc qu'à objectiver par l'auscultation l'oscillation maximale. Il n'a été vérifié jusqu'ici que par cette seule référence. Il doit par conséquent hériter des critiques faites à l'oscillométrie.

En outre, Barbier qui possède une longue habitude de l'auscultation artérielle adresse à la méthode un grave reproche :

« Il est difficile, dit-il, de savoir à quel moment disparaissent les bruits; il est encore beaucoup plus difficile de juger à quel moment exact on perçoit le bruit le plus intense, car la courbe auscultatoire se modifie, d'un bout à l'autre, de façon à peu près insensible. Et l'on pourrait joindre à cette difficulté une seconde qui est importante : plus encore que la courbe oscillométrique, la courbe auscultatoire est fonction de l'état de

la paroi artérielle ; les hyposympathicotoniques n'ont point de tons artériels, les basedowiens ont des tons si intenses qu'ils sont, d'un bout à l'autre de la courbe, douloureux à l'oreille. Vouloir se livrer dans ces cas à une comparaison d'intensité des bruits serait se condamner à des mesures fantaisistes de la pression moyenne. »

Nous croyons devoir ajouter que l'existence de trous auscultatoires (dont on n'a pas encore, à notre avis, donné d'explication satisfaisante) rend dans certains cas bien délicate l'application du critère de Kisthinios.

Le procédé indirect par l'oscillographie.

Nous consacrons plus loin un long développement à l'étude complète de la méthode dont Hill et Bernard ont indiqué les premiers le principe. Nous désirons ici faire une revue rapide des appareils utilisés en pratique pour son application.

Ils dérivent tous du manomètre spécial inventé par Pachon et dont la caractéristique fondamentale est la réalisation d'un dispositif à sensibilité constante sous toutes les valeurs de pression. On sait qu'il se compose essentiellement d'un boîtier étanche communiquant avec le brassard d'une part et avec une pompe pneumatique d'autre part. Une première capsule anéroïde, incluse dans le boîtier, donne la valeur de l'excès de la pression régnant dans le brassard sur la pression atmosphérique. Une deuxième capsule anéroïde à grande surface, également située dans le boîtier, et normalement ouverte dans celui-ci, supporte « intus et extra » la pression générale établie dans le système. L'ingéniosité du dispositif consiste à pouvoir isoler à tout moment l'intérieur de cette seconde capsule. La surpres-

sion qu'établit alors dans le boîtier l'augmentation de volume du vaisseau pendant sa pulsation retentit extérieurement sur les parois de la capsule fonctionnant au voisinage de ses conditions d'équilibre. Une aiguille à faible inertie et à grand développement se déplace sur un cadran gradué en unités conventionnelles et traduit en valeurs linéaires les amplitudes volumétriques de l'oscillation.

Différents modèles de cet appareil ont été construits par la maison Boulitte sous le nom d'oscillomètres de Pachon.

Leur ancêtre, le sphygmométroscope d'Amblard (1908), ne comportait qu'un seul manomètre très sensible.

Yacoël, combinant un oscillomètre du genre Pachon à une manchette destinée à l'auscultation artérielle, nous apporte de son côté, en 1931, une réalisation à vraie dire peu séduisante.

Tous ces appareils offrent un inconvénient évident de lecture; l'index ne revenant pas au même point pour les diverses valeurs de la contre-pression, l'appréciation de sa course est sujette à des erreurs sensibles.

A. Walter, dissociant la capsule oscillante du manomètre, présente avec son angéiopter, en 1930, un instrument du type Pachon-Boulitte auquel il fait subir, en 1931, quelques modifications de détail. Ici, l'aiguille revient automatiquement au zéro.

Un progrès matériel manifeste est réalisé par le ky momètre de Vaquez, Gley et Gomez (G. Boulitte constructeur). C'est un oscillomètre du genre Pachon dans lequel la séparation capsule-boîtier est obtenue sans aucune manœuvre par une soupape permettant la mise en équilibre du boîtier avec la pression la plus basse régnant dans l'ensemble capsule-brassard. L'aiguille est au zéro au départ de chaque oscillation. Un bouton molleté règle l'échappement de l'air que la pompe a

comprimé dans le brassard par l'intermédiaire du boîtier.

Le maniement de ces appareils est aujourd'hui familier à chacun. On gonfle la manchette jusqu'à éteindre complètement les pulsations sous le brassard. En pratique, on dépasse même largement ce point de départ. On laisse alors s'échapper l'air par degrés en ouvrant et fermant le bouton à vis à cet usage. Pour chaque valeur de la contrepression lue au manomètre, on évalue le déplacement de l'aiguille oscillante. Il est sage, si l'on veut faire des déterminations de M_x , M_n et M_y correctement selon les critères classiques, de transcrire ces lectures sous forme de courbe en portant en abscisses les pressions du brassard et en ordonnées la grandeur des oscillations.

Les constructeurs se sont du reste occupé de réaliser automatiquement l'enregistrement de telles courbes en faisant entraîner par le manomètre non oscillant une feuille de papier graduée.

Le grand tensiographe de Boulitte permet d'obtenir une courbe continue grâce à une fuite permanente et réglable de l'air comprimé dans le brassard. Dans le petit tensiographe, il est nécessaire d'abaisser la compression par degrés en maniant la vis d'échappement.

J. Plesch, de Berlin, a imaginé un appareil commode construit à Paris par Grunberg, toujours sur le même principe. C'est un oscillomètre à fuite continue où la courbe s'inscrit circulairement à l'intérieur d'un boîtier unique d'encombrement très minime.

Nous nous arrêtons, pour finir, à une question subsidiaire concernant les brassards de ces différents appareils. De longues discussions sont intervenues entre les auteurs pour savoir s'il fallait employer un brassard unique à la manière de Pachon ou double selon les idées de Gallavardin, si ce brassard devait être large

ou étroit, s'il convenait qu'il entourât complètement ou non le membre sur lequel il s'applique.

Les développements physiques qui vont suivre permettront au lecteur de comprendre, sans qu'il soit nécessaire de s'y apesantir, les points que voici dont nous avons pu vérifier à maintes reprises et par comparaisons systématiques l'exactitude.

L'oscillogramme le mieux différencié est celui où, pour une ampliation donnée de l'artère, le déplacement de l'aiguille est le plus grand. Il faut donc :

1° que le volume de l'air comprimé dans le brassard soit le plus faible possible. L'accroissement relatif de volume lors de la pulsation en sera d'autant plus grand. Il est, en conséquence, indiqué d'appliquer le brassard étroitement au départ.

2° que la manchette comprime un segment d'artère assez long. D'où l'avantage des brassards de 12 à 15 centimètres sur ceux de 6 à 8.

3° enfin que le battement de l'artère soit aussi net, aussi efficace que possible. D'où la nécessité d'éviter toute striction en amont de la manchette réceptrice et dont l'effet, comme l'a fort bien vu Pachon, est d'uniformiser le cours du sang en aval, donc d'amoindrir les pulsations.

En résumé, il faut utiliser un brassard à poche pneumatique unique, large et très exactement appliqué sur le membre exploré (1).

(1) C'est à ces conclusions que se range H. Paillard. (*Journal Médical Français*, février 1933), après Laubry et Poumailoux (*Monde Médical*, fév. 1930).

CHAPITRE IV

SUR LE REPÉRAGE OSCILLOMÉTRIQUE DE LA PRESSION ARTÉRIELLE MOYENNE

LES FAITS

La détermination oscillographique d'un critère de la pression moyenne repose sur des faits expérimentaux dont tout le mérite de la découverte revient au Professeur Pachon.

A l'aide de son dispositif de circulation artificielle désormais classique, cet auteur fit les observations suivantes.

Si l'on enregistre simultanément les oscillations transmises par l'air à une capsule de Pachon-Boullitte, d'un conduit élastique enfermé dans un manchon, la pression établie dans ce manchon et la pression moyenne du liquide circulant dans le conduit sous un régime d'impulsions rythmées et ininterrompues, on constate que l'intersection de la droite représentant la pression moyenne donnée par le manomètre de Marey avec la courbe des contrepressions automatiquement décroissantes exercées autour de l'artère, se trouve sur la même

ligne de rappel que l'oscillation maxima, aux erreurs d'expérience près.

L'ordre de grandeur de ces erreurs ne peut d'ailleurs être calculé sur les tracés de Pachon qui ne portent pas de repères gradués.

Les conséquences de cette expérience permettaient d'ériger l'oscillation maximale en témoin de la pression moyenne, alors que jusqu'ici, elle avait été considérée par Marey, Potain, et Pachon lui-même comme l'indice de la minima.

Pachon tenta immédiatement d'expliquer avec R. Fabre les raisons de ce revirement d'opinion. Les observations que l'on avait faites antérieurement à 1921 sur l'oscillation maximale, avaient été conduites au moyen de circulations artificielles où les impulsions se trouvaient produites isolément et de façon intermittente. Dans ces conditions, l'oscillation maximale répondait bien à la pression minima; de là l'erreur, les circonstances de l'expérience n'étant pas celles de la physiologie. Dès lors, disent les auteurs, on devra, dans tout raisonnement, simple ou mathématique, pour la détermination exacte du moment de l'oscillation maximale, partir de données applicables à un régime d'ondes périodiques et ininterrompues, c'est-à-dire, à un mouvement vibratoire périodiquement entretenu et non à des ondes de pression isolées.

Cela est vrai. Mais l'on peut faire observer que le désaccord entre les deux séries d'expériences est plus apparent que réel. Car, dans le régime des ondes isolées, la moyenne devient assez voisine de la minima pour se confondre, aux approximations près, avec elle, de sorte que le rapport de l'oscillation maximale et de la pression moyenne pourrait être entendu comme une loi générale. Ainsi en va-t-il du moins avec le matériel utilisé par les auteurs.

Nous aurons à revenir plus loin sur ce sujet.

Tels sont les faits recueillis au laboratoire. Les essais de confirmation clinique tentèrent de nombreux chercheurs,

Gley et Gomez adaptèrent à l'animal vivant, sur l'artère dénudée, un dispositif directement dérivé de celui de Pachon et constatèrent que les battements les plus amples du vaisseau, visibles à travers le manchon, répondaient à la pression moyenne mesurée manométriquement.

Boucomont, le premier semble-t-il chez l'homme, réalisa une série d'expériences analogues. Pendant une amputation de cuisse gauche, au tiers inférieur, pour tumeur blanche du genou, il a pu mettre l'artère fémorale, immédiatement après qu'elle eût été sectionnée, en communication avec deux manomètres compensateurs; la pression moyenne, lue de dix en dix secondes a été : 9,5; 10; 10,5; 10; 9,5; 10; 10. Quelques minutes après, un brassard de Pachon de 8 cm., étant posé sur le moignon, la plus grande oscillation correspondait à une pression de 11 cm. de mercure.

Sur un autre malade, amputé à la partie moyenne de l'avant-bras, l'auteur a pu laisser le brassard sur le bras pendant tout le temps de l'intervention et lire au même instant la pression moyenne dans l'artère par le manomètre compensateur et au travers des téguments par l'oscillomètre. Les lectures faites de quinze en quinze secondes ont donné : 11,5; 11,5; 11,5; 11; 11; la courbe oscillométrique donnait : 11,5.

La conclusion à l'exactitude du principe s'imposait.

Plus récemment, des recherches du même ordre ont été faites par Duomarco et Oliver, puis par Fr. Van Dooren, qui comparent la pression moyenne mesurée directement par ponction de l'artère au moyen d'un manomètre à mercure amorti et les indications oscillomé-

triques. Nous reviendrons un peu plus loin, sur les résultats obtenus.

LES INTERPRÉTATIONS ADMISES

Les interprétations qui ont été données de ces faits expérimentaux se résument en la théorie exposée par R. Fabre dans sa thèse (Bordeaux 1921, pages 59 à 62). Le texte de Fabre est assez connu pour que nous n'ayons

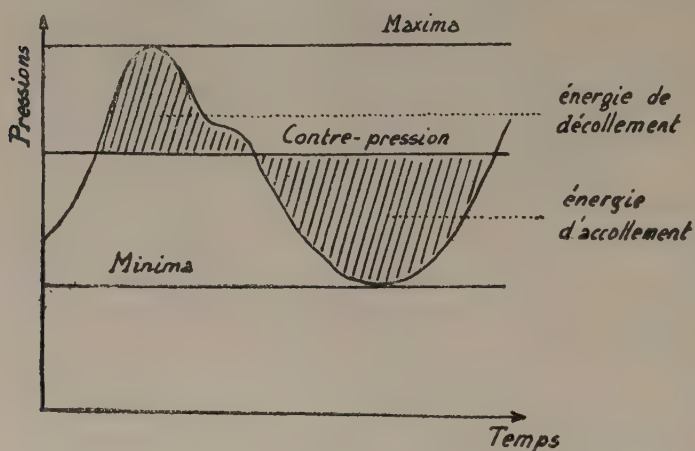


Figure 10.

pas à le rappeler ici dans son intégrité. Pour cet auteur, la contre-pression C exercée sur l'artère par le brassard de Pachon ne laisse passer, de l'onde pulsatile, que la portion répondant aux pressions supérieures à C . Ce fragment de courbe, limite avec C une aire dont la mesure rend compte de l'énergie de décollement de l'artère. Le restant de la courbe borne, avec C , une deuxième aire représentant l'énergie d'accollement des parois. Et l'auteur croit montrer comment l'amplitude maxima du battement a lieu lorsque ces deux éner-

gies d'accollement et de décollement sont égales et par conséquent les surfaces correspondantes. On se souvient que dans ce cas, la droite qui représente C , occupe la position assignée à la pression moyenne par le calcul et l'expérience (fig. 10).

De son côté, Ph. Fabre (de Lille), dans un dispositif remarquablement visuel, montre comment l'oscillation maximale ne peut répondre qu'à une contre-pression extérieure équilibrant la pression moyenne intérieure.

Dans la lumière d'un tube rectiligne communiquant d'un bout avec un oscillomètre et relié à l'autre bout avec une source pulsatile, se déplace un piston dont la course est bornée par deux butées; la plus rapprochée de la source limite le déplacement du piston à l'égal du collapsus diastolique; la plus éloignée, à l'instar de l'ampliation artérielle maximum.

Le jeu du piston, sous des contre-pressions variables donne lieu, dans l'oscillomètre, à des battements de l'aiguille et l'on peut enregistrer la courbe de leur développement.

D'une étude mécanique de la question, il résulte pour Ph. Fabre que le sommet de la courbe se présente « lorsqu'il y a égalité entre la contre-pression et la pression moyenne de l'onde incidente solitaire ». Mais l'auteur se hâte d'ajouter qu'il s'agit là d'un artéfact et que la pression moyenne envisagée n'est pas la pression moyenne vraie qui existe dans le vaisseau en dehors de toute compression.

LA CRITIQUE

Quoiqu'il en soit des faits, il est aisé de se rendre compte que la théorie qui les explique ne repose sur aucun fondement bien solide.

Nous avons indiqué (1) qu'il était impossible d'attribuer aux surfaces découpées sur le plan d'un sphygmogramme la représentation d'une énergie. En second lieu il est difficile de soutenir que le degré de distension d'un vaisseau dont rend compte une oscillation soit proportionnel à une mesure d'énergie, de quantité de mouvement. Il faudrait supposer que le dispositif oscillatoire fonctionne comme un bolomètre et possède une inertie très grande, ce qui est contraire au principe de la construction des appareils. C'est une *force* qui accomplit le travail d'expansion artérielle, et si, de cette force, la courbe manométrique rend compte en chaque point, rien ne fait apparaître en elle le déplacement de la paroi. Et c'est ici qu'il ne faut pas confondre le travail accompli par la pression contre la paroi pour la déplacer et celui qui résulte d'un flux liquide à travers une section droite. Si la pression reste fixe, le travail contre la paroi est nul, alors que l'énergie de l'écoulement se manifeste en fonction du débit et de la charge unitaire. C'est ce que Barbier semble vouloir négliger lorsque, après avoir rappelé que l'onde pulsatile ne correspond pas à une progression du même volume de sang, il ajoute que ses qualités dynamiques n'en sont pas moins exactement proportionnelles à son volume. Les phénomènes ne sont pas superposables.

L'obscurité devient plus grande si l'on parle d'énergie d'accollement. S'il a été admis en effet que pour une compression C , le flux est arrêté, c'est que le conduit est obturé. Quelle est donc cette énergie sans manifestations visibles qui se trouverait mesurée par l'aire comprise entre la portion de courbe située au-dessus de C et C elle-même ? L'accollement étant réalisé pendant tout ce temps, peut-on parler du travail fourni par une cer-

(1) *Algérie Médicale*, octobre 1933.

taîne force qui ne déplace pas son point d'application? Ce n'est même pas du travail résistant qui est effectué.

Enfin si l'on admet que l'amplitude de décollement est proportionnelle à la surface située au-dessus de C , c'est lorsque C égale Mn que cette amplitude est physiquement maximum; ainsi en irait-il dans les expériences de sphygmo-bolométrie réalisées par Sahli (de Berne) lorsqu'il obtient le tracé optimal en amenant au contact les parois artérielles pendant l'instant de la diastole qui situe la minima. Si l'on admet par contre que l'amplitude est le résultat, la sommation d'un accollement et d'un décollement, chacun l'accroissant dans son propre sens, comme la somme des deux surfaces envisagées est constante, l'amplitude doit être constante, et indépendante de la contre-pression; ce qui n'est pas.

Ainsi donc, la démonstration, pour brillante qu'elle soit, ne saurait résister à l'analyse de ses moyens.

En ce qui concerne les expériences de Ph. Fabre (de Lille), il est facile d'ajouter aux réserves que formule l'auteur lui-même du point de vue mécanique un autre argument critique. Le dispositif schématique choisi supprime tout équivalent de la paroi artérielle, car le piston qui la figure et qui oscille entre deux butées n'est soumis à aucune force autre que celles qui s'exercent sur ses faces; et ainsi l'on s'éloigne par trop des conditions réelles.

Il est bon de se rendre compte par ailleurs que l'oscillation maximale ne peut répondre à la pression moyenne que dans le cas très particulier d'un choix de butées tel que celles-ci limitent exactement la course du piston préalablement repérée pour une contre-pression égale à la pression moyenne. Dans tous les autres cas — c'est-à-dire en général — l'oscillogramme relatif à l'expérience est une courbe en plateau.

Divers auteurs se sont bien rendu compte, d'autre part que des facteurs multiples intervenaient dans le

déterminisme de l'oscillogramme, et, au premier chef, les qualités de l'artère mise en cause.

Pachon, en 1919, avait indiqué les rapports du calibre vasculaire avec l'indice oscillométrique. Romeuf (1922) avec G. Billard avait vu la part prépondérante que prend l'aorte dans le mécanisme de formation de l'onde pulsatile par son élasticité.

Alexandre et Moulinier, les premiers semble-t-il, ayant tenté d'expliquer par les lois de l'hydraulique la genèse de l'oscillogramme, affirmaient que l'oscillation maximale ne répond à aucune donnée physique ou physiologique déterminée.

On n'a pas assez tenu compte de la paroi artérielle écrit Barbier en janvier 1932, et Vaquez avec De Chaisemartin se propose d'étudier l'influence des modifications de la structure artérielle sur la production des oscillogrammes en plateau.

Barrieu, dans une communication à la Société de Médecine de Paris (8 avril 1932), reprend après les auteurs allemands l'interprétation de la courbe tracée par le tonoscillographe de Plesch en usage à l'étranger et s'exprime ainsi (1) :

« ... Les oscillations se succèdent dans l'ordre suivant :

« Après une ligne droite, il y a d'abord de très petites oscillations que j'appelle les supra-totales-maximales;

« Puis la courbe fait un premier coude parce que les oscillations augmentent brusquement, devenant les supra maximales;

« Après un deuxième coude, les oscillations augmentent encore d'amplitude, mais plus doucement pour atteindre un maximum;

(1) *Bulletin et mémoires de la Société de Médecine de Paris*, p. 256 à 258.

« A ce moment, la courbe s'infléchit, faisant ainsi un
« troisième coude et les oscillations décroissantes sont
« appelées les supra-minimales;

« Enfin un quatrième coude survient après lequel les
« oscillations diminuent d'amplitude, pour se rappro-
« cher du zéro.

« C'est là, la zone des oscillations à pente propre de
« Pachon que j'appellerai les infra-minimales.

« La maxima se lit au deuxième coude. La minima
« se lit au quatrième coude.

« Quelle est donc la signification des premier et troi-
« sième coudes ?

« Des travaux allemands que je ne puis analyser ici,
« il résulte que le premier coude correspond à ce que
« l'on appelle la maxima-totale et le troisième à la
« minima-totale. Pour expliquer ces phénomènes, étu-
« dions ce qui se passe lorsque l'on comprime une ar-
« tère par un brassard;

« Au-dessus du premier coude, l'artère est totalement
« comprimée et le sang ne passe pas, l'impulsion sys-
« tolique venant buter au point de compression.

« 1° Ces impulsions systoliques se communiquent à
« la colonne d'air de la manchette, et, ainsi, s'inscrivent
« les supra-totales-maximales.

« 2° En décomprimant, il arrive un moment où l'ar-
« tère s'entr'ouvre sous l'impulsion systolique. Les os-
« cillations sont alors plus grandes, et c'est à ce moment
« que se produit le premier coude qui correspond à la
« maximale-totale. Ce point est l'ancien critère de la
« maxima de Pachon. Il a été depuis abandonné; mais
« s'il est exact qu'il ne correspond pas à la maxima
« réelle, il semble qu'il doive être conservé sous le nom
« de maxima-totale, car il a une signification que nous
« expliquerons tout à l'heure.

« En poursuivant la décompression, il arrive un moment où l'impulsion systolique permet à l'artère de retrouver sa forme cylindrique primitive, mais pendant la diastole, l'artère est encore en collapsus. La courbe fait alors un coude et c'est là que se trouve la maxima-réelle qui correspond au nouveau critère de Pachon. A partir de ce point l'accroissement des oscillations est ralenti.

« 4° Après la maxima, l'artère est toujours en collapsus diastolique. Pendant la systole, la contre-pression du brassard étant inférieure à la pression systolique, il y a dilatation de la paroi artérielle, et c'est pour cela que les oscillations continuent de croître.

« 5° Ensuite les parois artérielles finissent par ne plus être en collapsus complet pendant la diastole. L'impulsion systolique se fait alors moins sentir et les oscillations sont moins amples, ce qui fait que la courbe fait un troisième coude que nous appelons la minima-totale par analogie avec ce qui se passe pour la systole à la maxima-totale.

« 6° Puis l'artère reprend peu à peu sa forme cylindrique pendant la diastole; c'est quand elle a retrouvé sa forme primitive pendant la diastole que se lit la minima-réelle. C'est à ce niveau que correspond le nouveau critère de Pachon de la minima.

« 7° Dans la zone qui suit cette minima réelle, les oscillations sont faibles car il n'y a que l'extensibilité de l'artère qui joue à chaque systole. C'est la zone des oscillations à pente propre de Pachon que j'appelle les infra-minimales.

« Revenons à la maxima-totale, à la minima-totale, et aux zones qui les suivent pour donner leur signification.

« Nous avons dit que la maxima-totale est le point où l'artère commence à s'ouvrir systoliquement. Ce

« point précède évidemment la maxima-réelle qui est
« le point où l'artère a sa forme cylindrique à la sys-
« tole.

« L'espace qui sépare ces deux points dépend de la
« rigidité artérielle, c'est-à-dire de la valeur de la paroi
« (valeur intrinsèque et influence du tonus nerveux).
« La preuve en est que si la résistance artérielle est
« nulle, par exemple si l'artère est en peau de baudru-
« che, ces deux points se confondent. Si, au contraire,
« la résistance est très grande (tube en caoutchouc épais
« ou artère très dure) on n'arrivera pas à l'écraser
« même avec des contre-pressions très supérieures à la
« pression systolique, et la zone des supra-maximales
« sera très grande;

« La maxima réelle étant une valeur absolue, c'est
« la maxima totale qui variera sur la courbe. La gran-
« deur de cette zone supra-maximale nous donnera
« donc la valeur de l'artère et cette valeur sera expri-
« mée en millimètres de pression.

« L'inclinaison de la courbe dans cette zone supra-
« maximale est définie par la rigidité artérielle. Com-
« ment se fait-il qu'après la maxima-réelle, les oscilla-
« tions augmentent encore ? Cela dépend de l'extensi-
« bilité de l'artère. Plus celle-ci est extensible, plus la
« pente sera raide; une artère non extensible donnerait
« un plateau horizontal.

« Donc les supra-maximales sont commandées par
« la rigidité de l'artère. Les oscillations qui se trouvent
« après la maxima-réelle sont commandées par l'exten-
« sibilité de l'artère. Ce sont deux qualités différentes,
« ce qui explique parfaitement la présence du coude
« au point de démarcation.

« La différence entre les points de la minima-totale
« et de la minima-réelle est naturellement égale à celle

« des points compris (1) entre la maxima-totale et la
« maxima-réelle, puisque c'est encore la valeur arté-
« rielle qui la constitue.

« En chiffrant en millimètres de mercure cette valeur
« artérielle, on trouve normalement environ 20 mm.

« Quand cette zone est augmentée, cela démontre que
« la rigidité artérielle est exagérée, et l'on peut diagnos-
« tiquer une sclérose ou une hypertonie artérielle. Quand
« cette zone est inférieure à la normale, cela signifie
« qu'il y a atonie artérielle ou une altération de la
« valeur de la paroi artérielle. »

Et Barrieu conclut en disant que « cette interpréta-
tion ne laisse aucune place à ce qu'on a appelé récem-
ment la pression moyenne. »

Sans doute ne s'agit-il point là d'une démonstration
scientifique, car il n'est apporté aucune preuve expéri-
mentale des hypothèses énoncées. Mais l'idée qui se dé-
gage de cette communication est que les propriétés de
l'artère interviennent très directement dans l'établisse-
ment de l'oscillogramme. Sédillot traduit la même in-
tuition quand il déclare que l'hypertension moyenne est
une affaire vasculaire (*Société Médicale des Hôpitaux
de Paris*, 27 février 1932).

Enfin M. Fritz (*Bulletins et Mémoires de la Société
Française d'Ophthalmologie*, 21 juillet 1932), après avoir
remarqué que les artères rétiniennes se comportent dif-
féremment les unes des autres lorsqu'on les comprime
par la technique de la tonoscopie, attribue nettement
cette constatation aux différents états de souplesse arté-
rielle. Il appuie son opinion sur l'expérience en branchant
en parallèles, sur un circuit soumis rythmiquement à un
régime de pressions variables, deux tubes élastiques de
souplesse inégale et comprimés d'égale manière à l'in-

(1) Il faut lire sans doute... « à celle comprise entre les points
de... »

térieur de deux manchons séparés. Lorsque le plus souple se trouve écrasé en permanence, l'autre n'est que partiellement aplati : il ne s'écrase d'ailleurs que pour une contre-pression qui peut être très supérieure à la pression moyenne et qui n'est nullement en rapport avec celle-ci, mais bien par contre avec la souplesse du vaisseau.

Au demeurant, l'analyse systématique de l'oscillogramme est poursuivie en Belgique depuis 1928 sur des bases précisées par De Ruyter dont les travaux mériteraient, à notre avis, d'être mieux connus chez nous.

D'une importante étude étayée sur l'expérience et parue dans les *Archives des Maladies du Cœur, des Vaisseaux et du Sang* (août 1933) nous extrayons les notions suivantes résumant les précédentes acquisitions du laboratoire du Professeur De Meyer.

Si l'on considère un oscillogramme recueilli à l'aide d'une technique telle que l'amplitude des oscillations soit proportionnelle aux variations volumétriques de l'artère soumise à une contre-pression décroissante (1) :

l'oscillation d'amplitude maximale répond au collapsus diastolique complet;

l'oscillation correspondant à la contre-pression qui équilibre exactement la pression maxima a une amplitude proportionnelle au diamètre réel de l'artère;

l'oscillation relative à la minima est proportionnelle en grandeur à la dilatabilité de l'artère.

En désignant par A , D , d les amplitudes, on a :

$$A = D + d$$

Etudiant les différents éléments de la courbe sur lesquels nous reviendrons plus loin, les auteurs ne signalent aucune relation théorique ou expérimentale entre

(1) Nous verrons plus loin que l'oscillomètre de Pachon remplit ces conditions.

la situation de l'indice oscillométrique et la pression artérielle moyenne.

INTERPRÉTATION PERSONNELLE

En réalité, l'explication des faits est à la fois plus directe et plus complexe que ne l'avait cru R. Fabre.

L'oscillogramme n'est autre chose que la courbe représentant l'amplitude du battement artériel en fonction de la contre-pression exercée sur cette artère. On sait, en effet, qu'il est en général nécessaire de déprimer le vaisseau pour rendre perceptible la pulsation. On sait également que Marey niait le rôle de l'élasticité dans la production du phénomène. Marey construit un tube en tissu de soie inextensible et le rend imperméable pour l'intercaler dans un circuit où passe un courant d'eau animé de pressions rythmées. En déprimant légèrement ce tube sous le doigt, on perçoit nettement le pouls qui demeure invisible si l'on n'exerce pas cette petite manœuvre.

Bouasse a fort bien expliqué (1) que le bondissement du pouls répondait à une élasticité de forme, notion qu'il est aisé de distinguer de l'élasticité de matière. Si cette dernière n'est d'ailleurs pas nécessaire à l'apparition du pouls, selon l'expérience de Marey, il n'est pas douteux qu'elle intervient également en fait.

Nous devons donc considérer l'enveloppe artérielle comme un système élastique. Sans nous préoccuper de qualifier le mode de son élasticité, retenons seulement qu'elle répond à toute action ayant pour effet de la déformer par une réaction qui tend à équilibrer l'action et la balance à la limite. Dans ces conditions, le degré

(1) *Jets, tubes et canaux*, Delagrave.

de la déformation mesure le degré de l'action. C'est là une considération qui s'applique à tout complexe élastique, quelle qu'en soit la nature, tant que l'on reste entre des bornes telles que les déformations ne soient pas permanentes.

Le témoin de la forme et des déformations d'un cylindre tel que l'artère à étudier, c'est sa section. Il sera généralement plus commode d'apprécier un terme proportionnel à cette section et qui est le volume d'un élément vasculaire de longueur fixe.

Il n'est pas inutile de faire remarquer ici que l'observation de la section ne se ramène pas à celle du diamètre, et cela dans le but d'éviter que l'on ne se livre à un calcul dénué de sens. Nous venons de noter que dans le phénomène de l'ampliation artérielle, jouent deux sortes d'élasticité :

- élasticité de forme,
- élasticité de matière.

Lorsque, dans la pulsation, l'artère passe du stade d'écrasement, où elle est aplatie, à un degré de distension où sa section devient circulaire, l'élasticité objectivée est de la première sorte. Lorsqu'elle se dilate au-delà de cette forme, il s'agit de la seconde sorte d'élasticité.

Si, dans la deuxième phase de l'ampliation, le diamètre est à la section dans le rapport où ils sont en un cercle, dans la première phase, il n'en va évidemment pas de même et la relation de ces dimensions ne répond à aucune formule faite.

Considérons maintenant une artère ou plus généralement encore, un conduit élastique renfermant un fluide sous une pression donnée et soumis extérieurement à une contre-pression connue. L'état d'équilibre de ce système est déterminé par la connaissance de

trois forces qui sont : la pression intérieure P , la contre-pression extérieure C , et la réaction R du conduit.

Si, pour des raisons de commodité que l'on comprendra aisément (1), on convient d'orienter positivement P dans le sens centrifuge et C dans le sens centripète, la résultante r de ces deux forces, prise sous la forme

$$r = P - C$$

se trouve orientée comme P . Dès lors, la réaction R qui fait équilibre à la résultante r aura la même orientation si l'on écrit cet équilibre sous la forme

$$R + r = 0$$

d'où

$$R = C - P$$

Ainsi, la formule est en accord avec le fait physique qui montre à l'évidence que la réaction est centrifuge quand $C > P$ et centripète dans le cas opposé.

Nous pouvons, ceci entendu, concevoir comment le problème de l'ampliation d'une artère se trouve dans tous les cas ramené à la connaissance des lois de l'élasticité globale de ce vaisseau.

La question d'objectiver cette élasticité, c'est-à-dire d'étudier la correspondance entre la déformation du conduit et sa réaction est donc résolue de la manière suivante : la formule $R = C - P$ nous donne le moyen de connaître la réaction ; une mesure de volume permet de fixer la déformation.

Nous nous sommes arrêté à cette méthode d'investigation pour plusieurs raisons dont la principale est qu'elle se trouve aisée à mettre en pratique à l'aide du brassard-pléthysmographe de Pachon et de la capsule oscillographique, instrumentation courante et classique de l'oscillométrie. Elle permet en outre de tenir compte de toutes les données du problème. Enfin, elle nous mène très directement à l'objet de notre étude : pénétrer

(1) On est habitué à évaluer P et C en valeurs positives.

la signification de l'accident moyen de la courbe oscillographique.

Ajoutons qu'un dispositif dérivé du pulsomètre bien connu de Marey ne saurait être utilisé pour repérer les déformations, car cet appareil traduit les variations d'un diamètre artériel et non d'une section; d'autre part, la compression exercée à l'aide de son ressort est non seulement inconnue, mais variable avec la déformation du système.

Avant d'entreprendre des expériences dans le sens entrevu, nous nous sommes préoccupé de savoir ce que contenait la littérature sur ce sujet et s'il était possible de prévoir la forme d'une loi.

Quelques essais de calcul des diamètres, dans le cas où l'élasticité de matière joue seule, nous avaient vite convaincu de l'absurdité qu'il y avait à supposer fixe le module d'élasticité radiaire sous la forme

$$e = \frac{D}{\Delta D} \cdot \Delta R$$

où R est la réaction relative au diamètre D .

Il eût, sinon, été facile d'obtenir ce module en application de la formule de Resal donnant la vitesse de

propagation du pouls $V = \sqrt{\frac{E \cdot e}{2 R \varrho}}$ (1), formule dénuée

de sens elle-même ici, la matière n'étant pas homogène.

Marey, Rosenthal, Boudet ont étudié les courbes de distension à la traction du muscle chez la grenouille. Ces courbes affectent l'allure d'arcs de cercle de telle sorte que le module d'élasticité soit de la forme

$$e = \frac{L - L_0}{a} \cdot L$$

(1) e : module d'élasticité.

E : épaisseur.

R : rayon du tuyau.

ϱ : densité du liquide.

L étant la longueur actuelle du muscle, a une constante.

D'une manière plus générale, Wertheim envisage pour toutes les substances organiques que la courbe de dilatation à la traction a une forme voisine de l'hyperbole. Wundt établit pour les nerfs un diagramme de ce genre. Il n'était fait mention nulle part de l'élasticité à la compression. Parmi les travaux modernes, une étude de E.-K. Wolff réalisée avec une technique assez particulière et qui laisse incertaine l'interprétation biologique ne saurait contribuer à nous éclairer (1).

Néanmoins, on pouvait prévoir grossièrement la forme de la courbe d'élasticité d'un tissu à la compression, et,

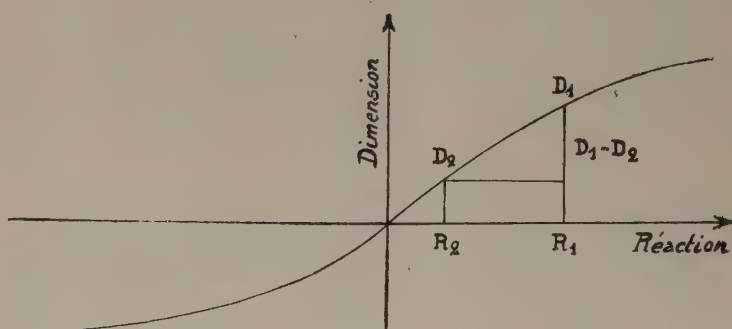


Fig. 11. — Courbe hypothétique d'élasticité artérielle.

dans le cas d'un tube creux, la raccorder avec les données de Wertheim et Wundt. Nous obtenions ainsi la courbe de la figure 11.

Quoiqu'il en soit d'ailleurs de la forme d'une telle courbe, l'essentiel à en retenir, c'est qu'elle fait correspondre une dimension (volume, section ou diamètre) à une réaction. Et le raisonnement suivant peut dès lors être produit.

(1) Wolff E. K. *Über die Elastica der grossen Arterien. Virchows' Archiv* 1930.

Dans une pulsation d'un conduit élastique soumis à une contre-pression C , la pression intérieure passant de la valeur minimale P_1 à la maximale P_2 , la réaction élastique passe de

$$\begin{array}{l} R_1 = C - P_1 \\ \text{à} \quad R_2 = C - P_2 \end{array}$$

Mais les dimensions du conduit répondant à R_1 et à R_2 sont D_1 et D_2 . Leur différence $D_2 - D_1$ va répondre à une amplitude A d'oscillation selon un rapport de correspondance propre à l'appareil utilisé.

Ainsi, la courbe d'élasticité permet de connaître, étant données deux pressions extrêmes, maxima et minima, la valeur de l'amplitude de l'oscillation pour chaque degré de contre-pression. En d'autres termes, elle nous met à même de construire de toutes pièces l'oscillogramme répondant à des conditions circulatoires connues. De sa forme, par conséquent, et de ces conditions, l'analyse va faire dépendre l'allure de la courbe oscillographique.

Et dès à présent, nous laissons pressentir en particulier que la pression moyenne, n'intervenant pas dans le mécanisme de ces phénomènes, ne saurait avoir de rapport physiquement démontrable avec l'oscillation maximale, comme l'avaient pensé Sédillot et Barrieu, Alexandre et Moulinier.

Il devenait indispensable d'obtenir les courbes d'élasticité des conduits servant aux expériences oscillographiques et de vérifier par les faits les conséquences de la théorie édifiée.

L'EXPÉRIMENTATION

Son Plan.

Voici comment nous avons conçu et réalisé notre étude.

Nous opérons sur différents conduits successivement :

— un tube de caoutchouc en feuille anglaise qui nous permet d'envisager la question sous son aspect le plus général ;

— une artère jeune prélevée sur un cordon ombilical ;

— une artère adulte empruntée à un cadavre frais.

Dans chaque cas nous déterminons :

— la courbe de déformation du système élastique ;

— la construction théorique de l'oscillogramme accompagnée des considérations particulières aux données choisies ;

— un oscillogramme réel que nous comparons à l'oscillogramme théorique.

Il est certain que le matériel mis en œuvre ne possède pas des propriétés superposables à celles des tissus vivants. Le caoutchouc, quelle que soit sa qualité, n'est pas une matière parfaitement homogène et la conservation d'un fragment d'artère est chose aléatoire.

Mais, d'une part, nous n'avons en vue que l'étude de certaines manifestations élastiques dans leur principe seulement non dans leur mode particulier ni dans leur grandeur absolue ; et, d'autre part, nous n'avons encore pu imaginer aucune méthode applicable à des éléments animés. Quoiqu'il en soit, dans la mesure où l'on peut reconnaître à notre matériel la valeur de systèmes élastiques obéissant à des lois stables — au moins pendant la durée des recherches — les résultats obtenus doivent permettre de concevoir quelle part prennent, à elles seules, les tuniques élastiques des artères dans le déterminisme des faits couramment observés.

Les Principes de la Technique.

Le dispositif des expériences oscillographiques comporte essentiellement un manchon rigide ou une manchette contenant, à la manière d'un pléthysmographe,

le conduit à l'étude — directement au laboratoire, par l'intermédiaire des tissus en clinique — et transmettant par la voie pneumatique ses variations de pression ou de volume à une capsule spéciale de Pachon-Boulitte.

Dans le cas habituel, c'est une variation de volume qui produit le déplacement de l'aiguille oscillographique, des pressions sensiblement égales régnant sur les deux faces de la capsule.

C'est avec un tel dispositif que nous nous sommes proposé d'établir la courbe des déviations du style de l'oscillomètre en fonction des variations des réactions d'un conduit élastique enfermé dans un manchon pléthysmographique.

Pour des raisons inhérentes à la construction de la capsule de Boulitte, il n'a pas été possible de réaliser ce projet directement, et cette étude a dû être scindée en deux temps.

Dans le premier, nous vérifions que les modifications de volume du conduit enfermé dans le manchon entraînent des déplacements du style de la capsule dont l'amplitude est proportionnelle à ces variations.

Dans le second, nous construisons par points la courbe des variations de volume du conduit en fonction de ses réactions élastiques mesurées à l'aide du manomètre à mercure.

Rapprochée de ce qui précède, cette courbe représente bien proportionnellement les déviations du style d'un oscillomètre en fonction des réactions du conduit considéré, dans les conditions générales d'expériences mises au point au laboratoire du Professeur Pachon.

Le premier temps de cette expérimentation revient à chercher comment dévie l'aiguille de la capsule oscillométrique ou de l'appareil ordinaire de Pachon lorsque, le boîtier de l'instrument se trouvant en relation avec une masse donnée de gaz sous une pression donnée dans une chambre close, on vient à imposer à l'es-

pace offert à ce gaz dans cette chambre une variation donnée mais petite.

On peut répondre théoriquement à une telle question. Soit V le volume occupé par le gaz; P , sa pression. La loi de Mariotte s'écrit $PV = cte (K)$. Cette relation donne

naissance à la différentielle $\frac{dV}{V} = -K \cdot \frac{dP}{P}$, qui si-

gnifie qu'une variation de volume élémentaire répond à une variation proportionnelle de la pression. Or, on sait que la construction des capsules anéroïdes telles que celles de l'oscillomètre établit une correspondance linéaire (pour de petits déplacements) entre l'indication de leur aiguille et la pression. D'où il ressort que la correspondance est également linéaire pour les volumes.

C'est ce que prouve aussi bien l'expérience.

Nous opérons d'abord sous la pression atmosphérique. Le boîtier d'un oscillomètre de Pachon est mis en relation au moyen d'un tube de caoutchouc rigide avec une chambre à gaz consistant, pour plus de sensibilité, en un tube de verre de calibre uniforme. Dans la partie de ce tube qui n'est pas en rapport avec l'appareil, de l'eau que l'on peut refouler avec une seringue indique par son niveau le volume offert à l'air et les variations du volume de cet air (figure 12).

Le dispositif ainsi présenté, il suffit, en principe de suivre : d'une part, le niveau de l'eau, et de noter, d'autre part, l'indication de l'aiguille après avoir fermé le séparateur. En réalité, on ne peut pas opérer de cette manière, car on constate que les variations lentes du volume de l'air n'entraînent aucune déviation de l'aiguille. Quoiqu'il en soit de l'interprétation d'un tel fait, (qui ne peut guère tenir qu'à un défaut d'étanchéité du système boîtier-capsule), seule une modification rapide du volume entraîne un déplacement de l'aiguille sur le cadran.

Force est donc d'employer la méthode suivante :

Tandis qu'un observateur produit une dénivellation brusque de l'eau dans le tube et en note l'amplitude, un deuxième observateur repère la déviation correspondante de l'aiguille.

Une telle expérimentation demeure évidemment d'une précision toute relative. Néanmoins, elle permet, en opé-

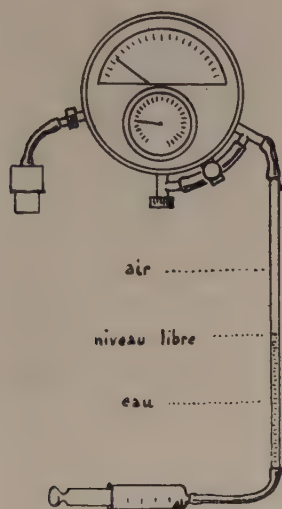


Fig. 12. — Dispositif expérimental.

rant de nombreux recoupements, d'atteindre la loi du phénomène. C'est ainsi que nous obtenons les résultats ci-dessous :

Variations du volume	Déviation de l'aiguille
0	0
2	1
4	2
6	3
8	4
12	6
14	7

qui nous paraissent suffisamment justifier l'énoncé de notre première proposition dans le cas d'une compression nulle (pression atmosphérique).

Reste à montrer que la proposition s'étend à toute valeur de la pression.

Nous réalisons l'expérience suivante :

La seringue ordinaire est remplacée par une seringue à course limitée de Barthélémy. Un tube en *T* est greffé sur le dispositif précédent et relié à une pompe grâce à laquelle on établit une contre-pression variable dans le boîtier de l'oscillomètre. On vérifie, quelle que soit la contre-pression, que la course constante du piston de la seringue amène une déviation constante du style de l'appareil (1).

Nous tiendrons dès lors les courbes qui vont suivre pour représentatives proportionnellement des déviations du style d'un oscillomètre alors qu'elles ont été construites sur le rapport des variations de volume des conduits étudiés en fonction de leurs réactions élastiques.

Le dispositif employé pour mener à bien le deuxième temps de nos recherches est des plus simples (fig. 13).

L'un des bouts du conduit à étudier est ligaturé sur un petit cylindre de verre pour assurer une étanchéité certaine : l'autre, assujetti à un tube de verre traversant un bouchon que l'on fixe solidement sur une éprouvette servant de manchon pléthysmographique. Cette éprouvette possède une tubulure latérale en relation avec un tuyau rectiligne, d'un diamètre minime (2 à 3 mm.) en

(1) Nous avons mis à profit ce dispositif expérimental pour vérifier l'influence possible de la rapidité du pouls sur l'amplitude des oscillations.

Elle ne se fait sentir que lorsque les différences de célérité pulsatile sont extrêmes. Par contre, opérant avec une course constante du piston de la seringue de Barthélémy, nous avons obtenu une déviation constante de l'index d'un Kymomètre pour tous les régimes de fréquence compris entre 50 et 120 pulsations à la minute.

verre, fixé sur une règle graduée. L'ensemble est disposé horizontalement. De l'eau est introduite dans le manchon purgé d'air et la position du ménisque en regard de la règle permet de repérer, à un facteur constant près, les variations volumétriques du conduit souple plongé dans le pléthysmographe. Les chiffres lus sont

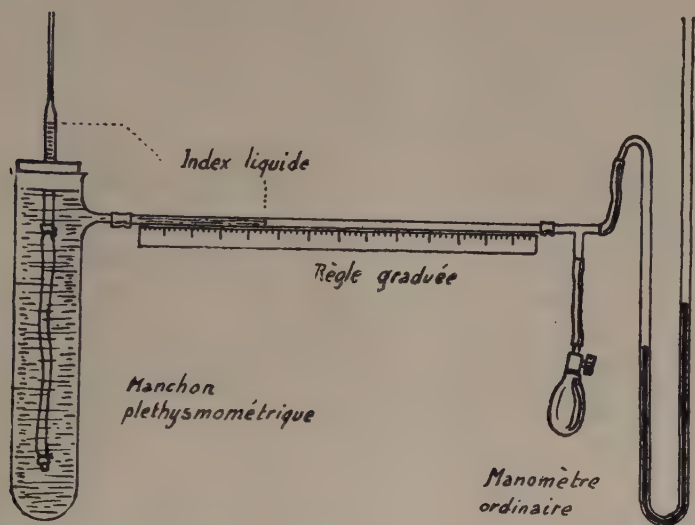


Fig. 13. — Dispositif pour l'étude de la relation entre le volume d'un segment de vaisseau et sa réaction élastique.

portés en abscisses sur nos courbes, le zéro étant pris pour l'état du conduit au repos, c'est-à-dire en équilibre sous la pression atmosphérique sur ses surfaces interne et externe. Nous les donnons, en vertu des remarques faites plus haut, comme chiffres d'amplitudes.

L'extrémité distale du tube servant à repérer les volumes est mise en rapport avec un manomètre à mercure d'une part et d'autre part une soufflerie constituée par une poire de caoutchouc munie d'une vis d'échappement.

Ainsi, toute compression exercée sur l'artère sera lue directement au manomètre et sans qu'il y ait de cor-

rection à faire, le ménisque du pléthysmographe se déplaçant horizontalement. Dans les mêmes conditions, on peut amener une dépression à l'extérieur de l'artère, en remplaçant la poire foulante par un aspirateur. L'aspiration buccale suffit d'ailleurs amplement.

Si la lumière du conduit étudié est en relation avec l'atmosphère, l'indication du manomètre mesure en valeur absolue la réaction du conduit. Comme nous avons convenu d'orienter celle-ci dans le sens centrifuge, la mesure précédente est également valable en signe.

Nous opérons donc dans ces conditions et portons en ordonnées de nos courbes les chiffres lus sur le manomètre, ou, plus exactement, toutes corrections de zéro et de lecture faites, la hauteur de la colonne mercurielle entre ses niveaux dans les deux branches. Nous obtenons, selon le matériel choisi, des courbes variables mais toutes du même type que nous construisons chacune à l'aide d'une trentaine de points situés par leurs coordonnées.

Réalisation.

LE CAS GÉNÉRAL.

Nous prenons un tube de caoutchouc de la variété dite « feuille anglaise » de 4 mm. de diamètre moyen, aux parois épaisses de 0,8 à 1 mm. et long de 20 cm. (1). La courbe *I* qui lui est relative se compose de trois portions assez distinctes *A*, *B*, *C*, dans lesquelles la pente

(1) Au sens exact des mots, il s'agit là d'un cas quelconque plutôt que d'un cas général. S'il est entendu que le cas général contient en soi les cas particuliers, le caoutchouc ne saurait être pris pour type idéal de système élastique. Nous le choisissons simplement comme exemple de matériel pour lequel, si la loi de l'oscillation maximale des auteurs avait une valeur générale, elle devrait se vérifier en particulier.

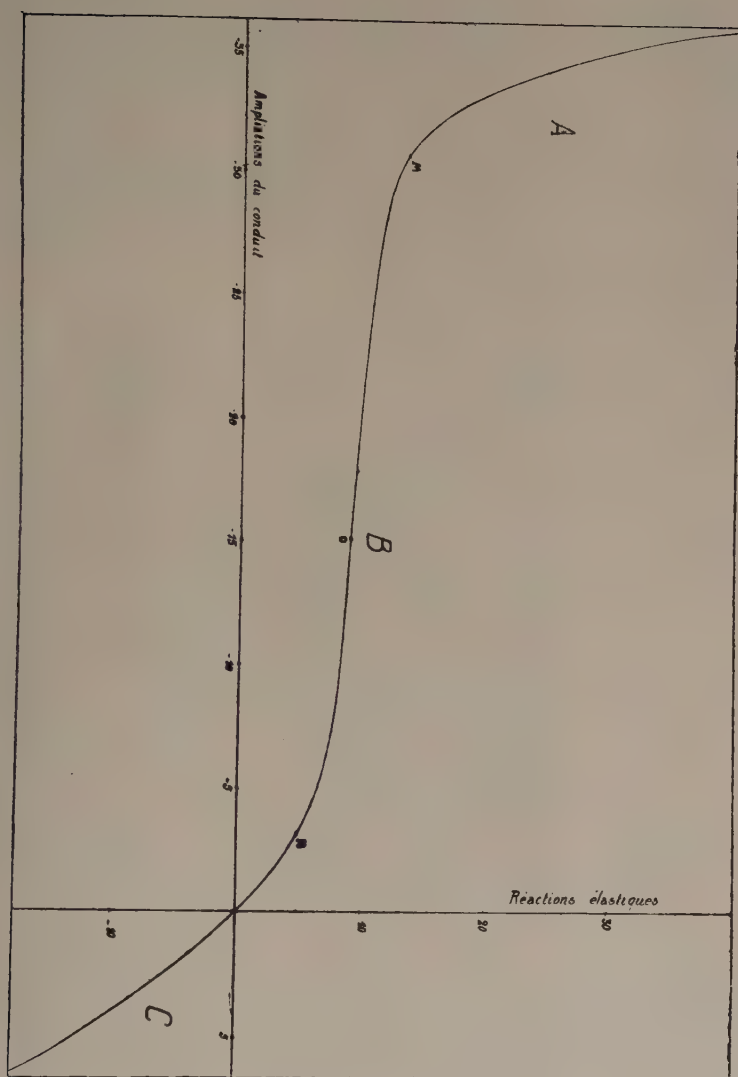


Fig. 14. Courbe I. — Ampliations d'un conduit de caoutchouc souple en fonction de sa réaction élastique. Reproduction au tiers d'une courbe tracée sur papier millimétré.

varie peu et affecte très grossièrement l'allure d'une cubique dont le point triple se trouverait au voisinage du point ($-16; 9,5$). Nous verrons plus loin comment la forme de cette courbe explique celle de l'oscillogramme.

Occupons-nous, pour l'instant, de construire l'oscillogramme d'un circuit où règne une pression rythmée connue et de comparer cette figure théorique avec le tracé obtenu en pratique.

Avant de décrire l'appareillage que nous avons utilisé dans ce dessein, nous en voulons justifier la conception par une remarque.

Lorsqu'on pose, en clinique, un brassard sur un membre pour faire des observations oscillographiques, on interrompt le courant de retour, et la circulation artérielle se trouve elle-même modifiée de telle sorte que l'on doit considérer le vaisseau principal exploré comme un véritable cul-de-sac. Les données établies, en particulier la pression, concernent donc l'artère dont celle que l'on étudie est tributaire. Une manchette placée sur le bras enregistre les oscillations dues à la circulation dans le tronc brachio-céphalique, à droite, et dans l'aorte, à gauche (ce qui fait peu de différence en pratique), mais non dans l'humérale où le courant sanguin est entravé.

C'est donc en dérivation sur le circuit général, où nous faisons régner un régime de pressions modulées, que nous disposons la lumière du conduit enfermé dans la chambre pléthysmographique précédemment présentée. La chambre elle-même est mise en relation, d'une part, avec le manomètre à mercure et la poire destinée à produire la contre-pression, d'autre part, avec un tube de verre effilé à terminaison capillaire chargé de réaliser une fuite régulière et assez lente de l'air compresseur, enfin avec une capsule oscillographique. La figure

15 achèvera de fixer dans l'esprit du lecteur le détail du dispositif.

Un sphymographe est également branché sur le circuit à proximité du système oscillographique et trace la courbe des pressions régnant dans le conduit.

Nous réalisons l'expérience en comprimant la chambre pléthysmographique à une pression de 25 à 30 cm.

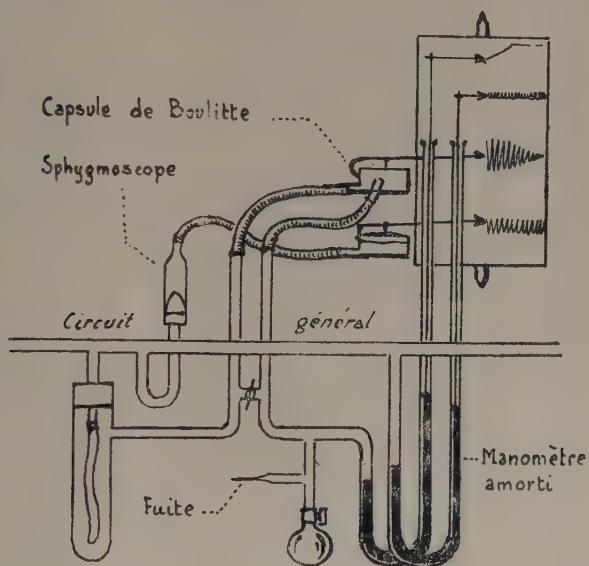


Fig. 15. — Dispositif d'ensemble pour la réalisation des expériences oscillographiques.

de mercure puis en ouvrant le tuyau de fuite. L'oscillogramme s'inscrit de lui-même et nous notons les repères des contre-pressions lues au manomètre au voisinage de l'oscillation maximale, de manière à obtenir aussi exactement que possible la contre-pression relative à cette oscillation (1).

(1) Au moins dans les premières expériences. Dans les suivantes, pression moyenne et contre-pression s'inscrivent d'elles-mêmes sur le tracé.

L'oscillogramme terminé, nous évaluons, en comparaison d'un manomètre à mercure, les pressions maxima et minima enregistrées par le sphygmographe. Ces dernières données sont utilisées pour construire l'oscillogramme théorique conformément aux vues que nous avons exposées.

Nous repérons sur cet oscillogramme l'oscillation maximale et le chiffre de contre-pression qui lui est relative. Il ne reste plus qu'à comparer les résultats calculés avec les données de l'expérience objective.

Voici les protocoles de trois expériences avec les figures qui s'y rapportent.

EXPERIENCE A

Matériel: tube en feuille anglaise relatif à la courbe I.

Données:

$$M_x = 12,4$$

$$M_n = 6,4$$

$$\text{Différentielle} = 6$$

La contre-pression donnant l'oscillation maximale est: 19,4.

Construction de l'oscillogramme théorique:

C	$R_1 = C - M_n$	$R_2 = C - M_x$	Amplitude proportionnelle à l'oscillation lue sur la courbe I :
30	$30 - 6,4 = 23,6$	$30 - 12,4 = 17,6$	1,3
25	18,6	12,6	2,8
20	13,6	7,6	23,4
19	12,6	6,6	24,7
18	11,6	5,6	24,5
17	10,6	4,6	22,7
16	9,6	3,6	18
15	8,6	2,6	11,6
14	7,6	1,6	6,7
13	6,6	0,6	5
12	5,6	-0,4	4,1
11	4,6	-1,4	3,4
10	3,6	-2,4	3,2
5	-1,4	-7,4	2,5
0	-6,4	-12,4	2,2

L'oscillation maximale a lieu pour $C = 19$.

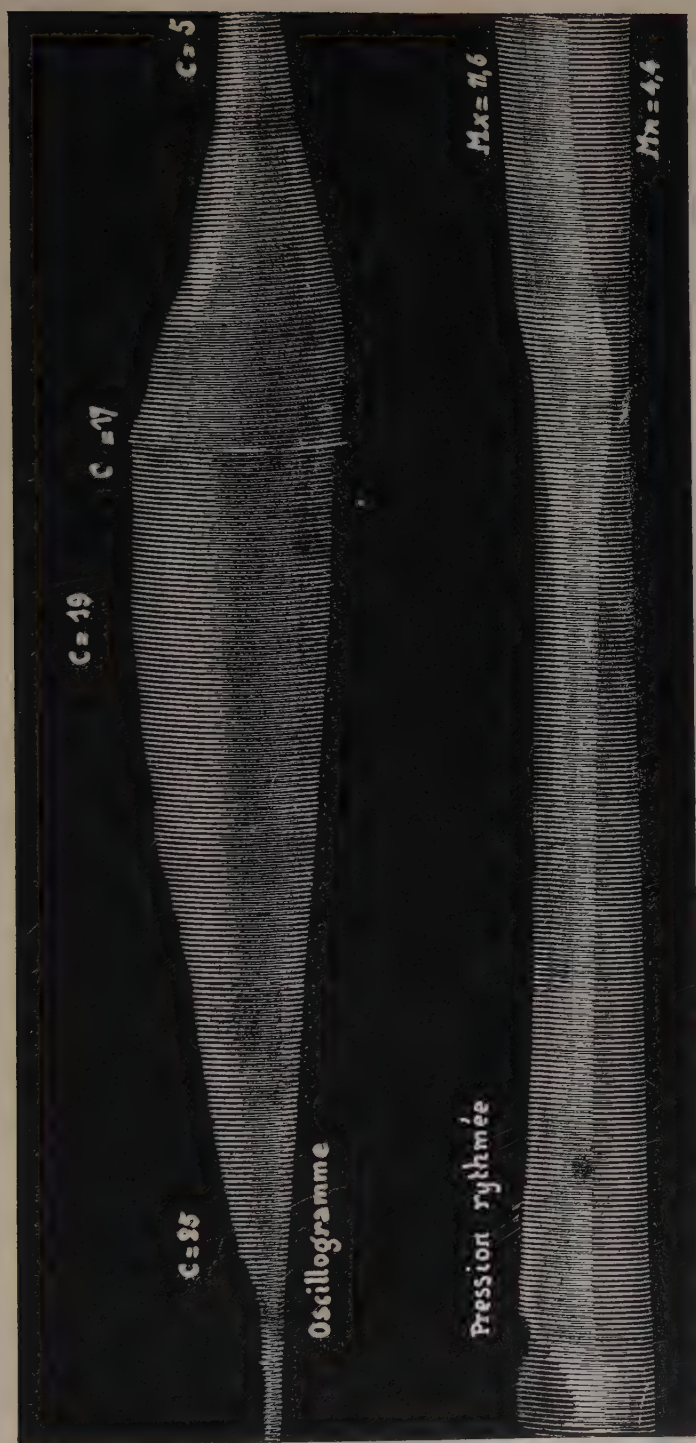


Fig. 16. — Expérience B.

EXPERIENCE B

Même matériel.

Données:

$$M_x = 11,6$$

$$M_n = 4,4$$

$$\text{Différentielle} = 7,2$$

L'oscillation maximale se produit sous une contre-pression de 17.

Construction de l'oscillogramme théorique:

C	$R_1 = C - M_n$	$R_2 = C - M_x$	Amplitude proportionnelle à l'oscillation lue sur la courbe I :
30	$30 - 4,4 = 25,6$	$30 - 11,6 = 18,4$	1,4
25	20,6	13,4	2,5
23	18,6	11,4	5
21	16,6	9,4	13,7
20	15,6	8,4	20,8
19	14,6	7,4	24,5
17	12,6	5,4	26,3
15	10,6	3,4	23,6
10	5,6	-1,6	4,8
5	0,6	-6,6	3,2
0	-4,4	-11,6	2,7

L'oscillation maximale théorique se produit pour $C = 17$.

EXPERIENCE C

Même matériel.

Données:

$$M_x = 9,4$$

$$M_n = 7$$

$$\text{Différentielle} = 2,4$$

La contre-pression donnant l'oscillation maximale est 18.

Construction de la courbe oscillométrique théorique:

C	$R_1 = C - M_n$	$R_2 = C - M_x$	Amplitude proportionnelle à l'oscillation lue sur la courbe I :
30	$30 - 7 = 23$	$30 - 9,4 = 20,6$	0,5
28	21	18,6	0,6
26	19	16,6	0,7
24	17	14,6	0,9
22	15	12,6	1,6
20	13	10,6	5,2

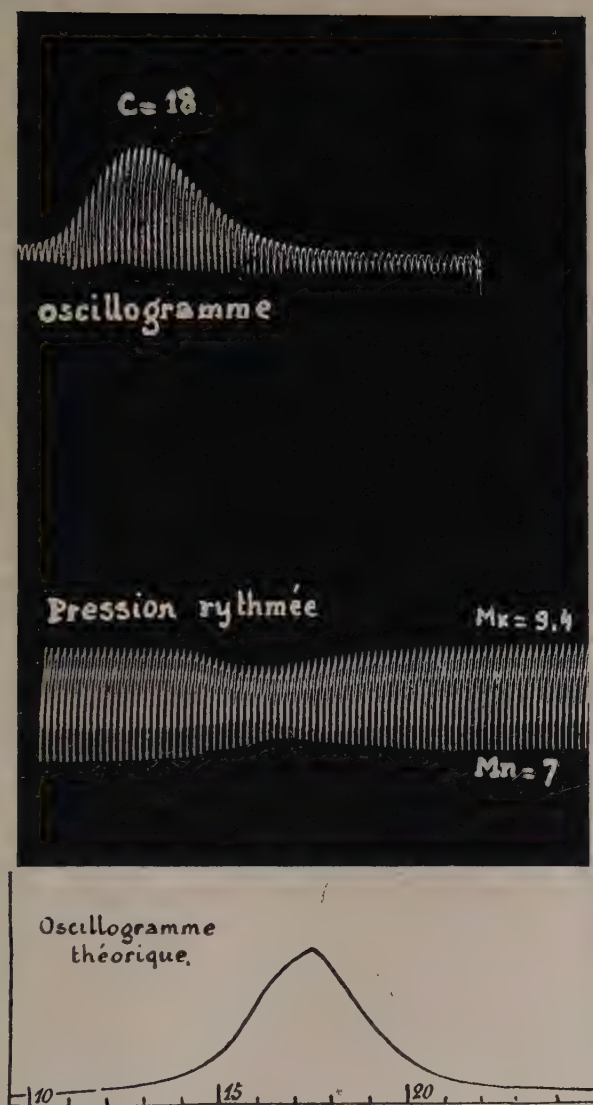


Fig. 17. — Expérience C.

19	12	9,6	9,5
18	11	8,6	14,3
17,5	10,5	8,1	15,9
17	10	7,6	15
16	9	6,6	10,3
15	8	5,6	5,2
13	6	4,6	2,3
11	4	3,6	1,5
9	2	2,6	1,2
7	0	1,6	1,3
5	—2	0,6	1
0	—7	—0,4	0,8

La contre-pression donnant l'oscillation maximale est 17,5.

Remarque.

Nous n'avons pas tenu compte, dans tout ce qui précède de ce que R. Fabre a étudié sous le nom de réaction de l'artère à l'écrasement.

Il semblerait pourtant qu'un raisonnement correctement conduit doive faire intervenir cette notion dans la construction de l'oscillogramme, et voici pourquoi.

Soit R_c la réaction minima pour laquelle l'artère se trouve écrasée. Pour toute valeur de C égale ou supérieure à $P + R_c$ l'artère est obturée. La courbe volumétrique de l'élasticité représente alors la réaction élastique de *matière* de la substance artérielle à la compression. Il ne règne pas dans la lumière du conduit la pression P . La réaction n'est dès lors plus $R = C - P$, mais bien $R = C$.

Dans ces conditions, pour toute valeur de C supérieure tant à $Mx + R_c$ qu'à $Mn + R_c$, le volume à lire sur la courbe est celui qui correspond à C et non à la valeur $R_1 = C - Mn$ ou $R_2 = C - Mx$. Une sorte de discontinuité dans le phénomène du battement artériel apparaît au moment où C égale $P + R_c$ et les oscillations de P ne deviennent efficaces sur le volume extérieur du conduit que lorsque $C - P$ devient inférieur à R_c .

Dans la réalité, il n'en va pas ainsi.

Essayons en effet de déterminer la réaction à l'écrasement de notre tube de caoutchouc. Voici comment se déroule le phénomène :

— lorsque R atteint 5 à 6 centimètres de mercure, le tube est aplati au point d'accoler ses parois.

— néanmoins, R s'élevant jusqu'aux environs de 18, le volume intérieur du conduit continue de décroître (on s'en assure en reliant la lumière du conduit à un tube horizontal dans lequel se déplace une gouttelette d'eau teintée).

— lorsque R a dépassé 18, le volume intérieur ne varie que d'une quantité infime. Pour mettre le phénomène en évidence, il faut utiliser un tube capillaire, comme jaugeur, au lieu du tube précédent.

— au delà de 30, il devient difficile de mettre en évidence toute variation de volume.

L'observation de ces phénomènes permet difficilement de fixer ce que Fabre appelle la résistance à l'écrasement du conduit. Est-ce 5 ou 6; 18 ou 30 ?

D'autre part, l'expérience ne confirme pas le raisonnement suivant lequel toute pression cesse de s'exercer dans la lumière du conduit lorsque celui-ci se trouve écrasé et a ses parois intérieures au contact l'une de l'autre. Les notions de volume offert et de pression doivent être nettement séparées: celui-là peut être nul (1) sans que celle-ci le soit. On en trouve la preuve en exerçant dans la partie libre de la lumière du vaisseau aplati une pression quelconque; si petite soit-elle, elle amène une variation du volume du segment étudié selon la loi de la courbe I.

Enfin, la considération d'après laquelle R_e représenterait la limite maxima des réactions positives conditionnerait dans la construction de l'oscillogramme l'exis-

(1) Pratiquement et grossièrement du moins.

tence de deux accidents relatifs aux passages de $C - Mx$ et $C - Mn$ par la valeur Re , fait contraire à l'expérience.

Il n'est pas jusqu'aux oscillations dites supramaximales qui ne trouvent une explication simple dans la théorie des oscillations que nous avons exposée, expurgée de la notion de la réaction à l'écrasement.

La pente de la courbe de l'élasticité artérielle est assez régulière dans la zone A et rend compte des oscillations insensiblement croissantes. La notion de Re , au contraire, voudrait que les oscillations n'existassent plus au-delà de $C = Mx + Re$. On est contraint, pour justifier leur présence, de faire intervenir classiquement le jeu de ce que l'on a nommé avec Pons l'entonnoir artériel d'amont. Ce qui revient assez indirectement à reconnaître l'existence d'une réaction artérielle qui se prolonge au delà de Re dans l'échelle positive.

Ces remarques faites, nous pouvons développer l'interprétation des résultats obtenus au cours des expériences oscillographiques qui précèdent.

Nous devons constater deux faits principaux :

1° la concordance des chiffres de contre-pression déterminés par la théorie et obtenus expérimentalement lors de la production de l'oscillation maximale.

Rappelons ces chiffres :

	expérience	théorie
expérience A	19,4	19
expérience B	17	17
expérience C	18	17,5

2° l'absence de concordance du chiffre de contre-pression donné par l'expérience au moment de l'oscillation maximale et du chiffre de la pression moyenne.

Tous les nombres repérés dans ces conditions sont *supérieurs de plusieurs centimètres* de mercure à la maxima — et, à fortiori, à la moyenne.

La conclusion qui paraît s'imposer est que la situation de l'oscillation maximale est conforme à notre théorie et, d'autre part, n'offre aucun rapport, même éloigné, avec la pression moyenne. Il ne faut pourtant pas se hâter de la formuler aussi sèchement. Une objection doit être faite, à laquelle il est utile de répondre, quant à la pression moyenne. Si l'écart entre les chiffres de nos expériences et la pression moyenne est considérable, c'est que nous avons utilisé un matériel dont l'élasticité est très grande. Fabre nous a appris qu'il fallait faire subir à toutes les mesures cliniques une correction dont l'ordre de grandeur est celui de la réaction à l'écrasement. Nous avons vu, plus précisément, d'une part que cette réaction est bien difficile à situer, d'autre part que l'équation d'équilibre d'un conduit est à tout instant :

$$R = C - P$$

C'est l'application de cette relation qui doit donc nous donner la vraie valeur de la pression relative à la compression provoquant l'oscillation maximale.

Que montre le calcul ? C est connu ; R passe, pendant l'oscillation, d'une valeur inférieure R_1 à une valeur supérieure R_2 dont la différence est égale à la pression artérielle différentielle. Etant donnée la forme de la courbe d'élasticité du conduit en B , région utile de cette courbe dans l'éventualité présente, comme on peut s'en assurer, on ne commettra pas d'erreur sensible

en prenant pour R la valeur moyenne $\frac{R_1 + R_2}{2}$

$$\text{D'où } P = C - \frac{R_1 + R_2}{2}$$

Nous trouvons ainsi pour chacune de nos expériences

$$\text{expérience A} \quad C=19,4 \quad \frac{1}{2} (R_1+R_2)=9,6 \quad P=9,8$$

$$\text{expérience B} \quad C=17 \quad \frac{1}{2} (R_1+R_2)=9 \quad P=8$$

$$\text{expérience C} \quad C=18 \quad \frac{1}{2} (R_1+R_2)=9,3 \quad P=8,7$$

Cette fois, la valeur de P se trouve comprise entre Mx et Mn et peu distante d'un chiffre moyen entre ces derniers.

Le fait subsiste néanmoins, que, sans une correction qui nécessite la connaissance de la courbe des réactions élastiques de l'artère, l'oscillation maximale ne peut permettre de repérer une valeur moyenne de la pression du liquide circulant dans un conduit quelconque. Encore cette valeur moyenne de la pression n'a-t-elle rien de nécessairement commun avec la pression moyenne proprement dite puisque nous avons vu que l'oscillation maximale qui a servi à la repérer peut être construite, sans tenir compte aucunement de la pression

$$\text{moyenne, à } \frac{0,5}{18} = 3 \% \text{ près, par les seules données}$$

relatives à l'élasticité artérielle et aux pressions extrêmes. Nous savons d'autre part l'indépendance complète qui existe entre les pressions extrêmes et la pression moyenne, cette dernière étant essentiellement fonction de la forme de la pulsation.

Notre théorie élastique de l'oscillogramme déjà conforme à l'expérience en ce point, trouve une nouvelle confirmation dans cette remarque que l'oscillation maximale a lieu lorsque la moyenne des réactions extrêmes

$$\frac{R_1 + R_2}{2} \text{ est comprise entre 9 et 9,5, valeur voisine de}$$



Fig. 18. — Expérience D.

l'ordonnée du point de la courbe I où la concavité change de sens, la tangente en ce point partageant la courbe en deux parties situées chacune dans un des demi-plans déterminés. Nous l'avons déjà assimilé au point triple d'une grossière cubique.

Nous verrons plus loin, en effet, en exposant le déterminisme des trois accidents principaux de l'oscillogramme théorique qu'il n'en saurait être autrement.

Nous donnons à titre documentaire le tracé d'une quatrième expérience (*D*) obtenu automatiquement selon la technique de Pachon où l'enregistrement de la pression moyenne et de la contre-pression suppriment tout facteur d'interprétation personnelle.

LE TISSU ARTÉRIEL JEUNE.

Passons maintenant à l'étude de conduits biologiques et voyons comment se comporte au point de vue expérimental une artère d'un type un peu spécial telle que l'artère ombilicale dans le segment appartenant au cordon.

Nous connaissons sa structure : le tissu musculaire y prédomine et les fibres conjonctivo-élastiques y sont rares.

Répons donc sur ce matériel frais (mis en œuvre après quelques heures seulement de conservation dans du sérum physiologique) les épreuves auxquelles nous avons soumis notre tube de caoutchouc (1). Un segment d'artère long de 15 cm., soigneusement isolé est disposé dans le pléthysmographe. Les variations provoquées de son volume en fonction des réactions du conduit étant faibles, le dispositif est rendu plus sensible en choisissant

(1) Il est évident que ce matériel ne possède pas les propriétés complètes de l'artère vivante. Mais nous pouvons penser que sa fonction élastique est sensiblement conservée.

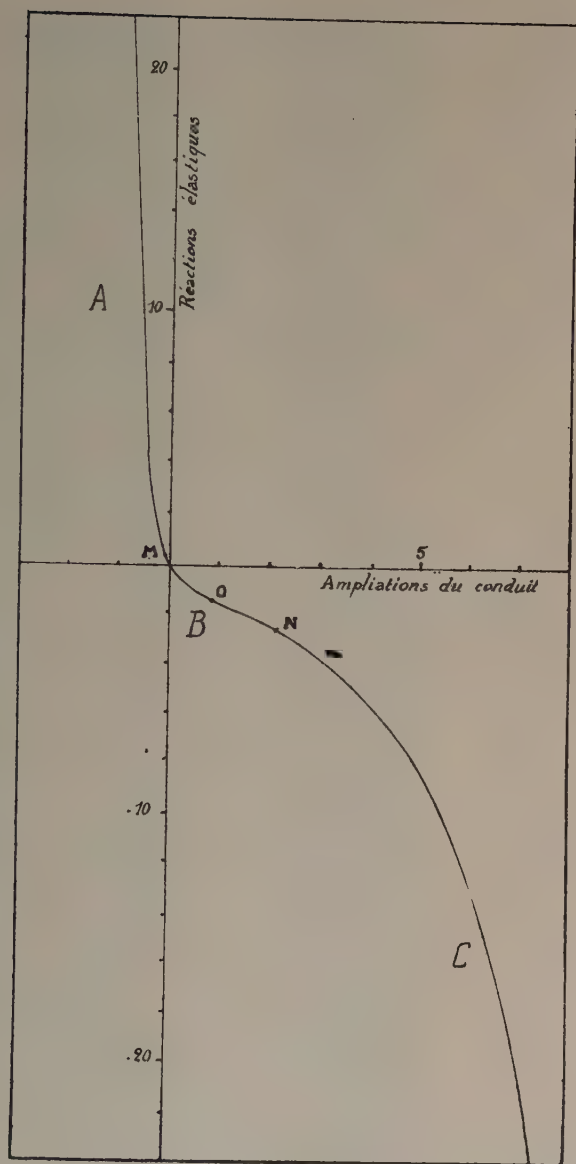


Fig. 19. Courbe II. — Ampliations d'une artère de cordon ombilical en fonction de ses réactions élastiques.

sant un calibre plus réduit pour le tube destiné à repérer les volumes.

Nous obtenons la courbe II. Elle a la même allure générale que la courbe I, avec cette particularité que la portion *B* est restreinte et mal individualisée ; nous verrons plus loin les liens qu'il convient d'établir entre certains autres accidents et la forme de l'oscillogramme.

Pour le présent, connaissant la loi élastique de cette artère, plaçons-la en dérivation aveugle sur un circuit à pression oscillante.

Voici les protocoles de deux expériences.

EXPERIENCE E

Matériel: artère de cordon ombilical.

Données:

$$M_x = 12,4$$

$$M_n = 4,4$$

$$\text{Différentielle} = 8$$

$$M_y = 7,6 \text{ au manomètre de Marey.}$$

L'oscillogramme porte les repères des contre-pressions *C* suivantes (de gauche à droite):

7,6

5,6

3,6

1,6

La maxima des oscillations a lieu pour $C=4$ environ.

Construction de la courbe oscillographique théorique:

C	$R_1 = C - M_n$	$R_2 = C - M_x$	Amplitude proportionnelle à l'oscillation :
15	$15 - 4,4 = 10,6$	$15 - 12,4 = 2,6$	0,3
14	9,6	1,6	0,35
13	8,6	0,6	0,4
12	7,6	-0,4	0,6
11	6,6	-1,4	1,3
10	5,6	-2,4	2,4
9	4,6	-3,4	3,2
8	3,6	-4,4	3,7
7	2,6	-5,4	4,2
6	1,6	-6,4	4,6
5	0,6	-7,4	4,95

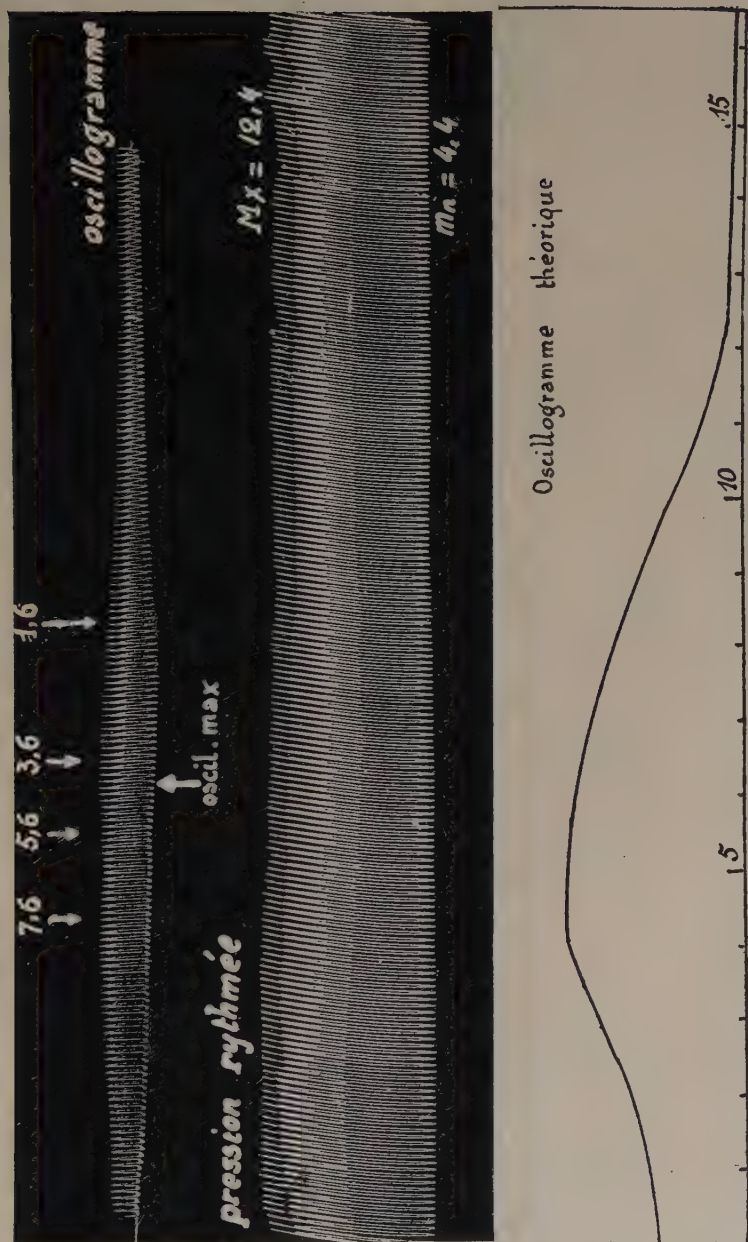


Fig. 20. — Expérience E.

4	—0,4	—8,4	5
3	—1,4	—9,4	4,5
2	—2,4	—10,4	3,5
1	—3,4	—11,4	3
0	—4,4	—12,4	2,6

La maxima des oscillations se produit pour $C=4$.

EXPERIENCE F

Même matériel.

Données:

$$Mx=11,6$$

$$Mn= 4,4$$

$$\text{Différentielle}=7,2$$

$$My= 6,2 \text{ au manomètre de Marey.}$$

L'oscillogramme porte les repères de contre-pression suivants:

10,4
8,4
6,4
4,4
2,4

L'oscillation maximale a lieu pour une valeur de C comprise entre 3 et 8 et voisine de 4.

Construction de l'oscillogramme théorique:

C	$R_1=C-Mn$	$R_2=C-Mx$	Amplitude proportionnelle à l'oscillation :
15	$15-4,4=10,6$	$15-11,6=3,4$	0,3
14	9,6	2,4	0,3
13	8,6	1,4	0,4
12	7,6	0,4	0,5
11	6,6	—0,6	0,8
10	5,6	—1,6	1,5
9	4,6	—2,6	2,5
8	3,6	—3,6	3,2
7	2,6	—4,6	3,8
6	1,6	—5,6	4,2
5	0,6	—6,6	4,6
4	—0,4	—7,6	4,7
3	—1,4	—8,6	4,3
2	—2,4	—9,6	3,4
1	—3,4	—10,6	2,7
0	—4,4	—11,6	2,2

Ici, comme précédemment, nous n'avons tenu aucun compte du phénomène de la réaction à l'écrasement. Nous avons néanmoins cherché à déterminer celle-ci et pu constater que, pour des réactions supérieures à 0,6 cm. de mercure, le volume intérieur de l'artère ne varie plus sensiblement. Ce résultat est conforme aux observations de R. Fabre.

Que pouvons-nous maintenant déduire des expériences précédentes ?

1° — La concordance des chiffres de contre-pression donnant l'oscillation maximale obtenus par la théorie et repérés par l'observation, pour n'être pas parfaitement nette, en raison de l'étalement de l'oscillogramme, n'en existe pas moins.

2° — Le chiffre de la contre-pression provoquant l'oscillation maximale ne répond pas à la pression moyenne. Il est inférieur à celle-ci de 3,6 cm. dans l'expérience E, de 2,2 cm. dans l'expérience F, et dans les deux cas inférieur à la minima.

En effectuant la correction de réaction élastique, on obtient, il est vrai, les chiffres respectifs de 8 pour l'expérience E et de 7,6 pour l'expérience F, compris chacun entre les limites des pressions maxima et minima, mais, si l'un est approché à 0,4 cm. de la moyenne, l'autre en est éloigné de 1,4.

L'ARTÈRE ADULTE.

Ainsi donc, ni sur un conduit de caoutchouc ni sur un tissu artériel jeune, nous n'avons vérifié l'exactitude du critère de la pression moyenne habituellement usité en oscillométrie.

Dans une troisième série d'expériences, nous nous sommes adressé à une artère âgée empruntée à une femme de 77 ans décédée d'affection intestinale. Nous avons prélevé trois heures après la mort un fragment

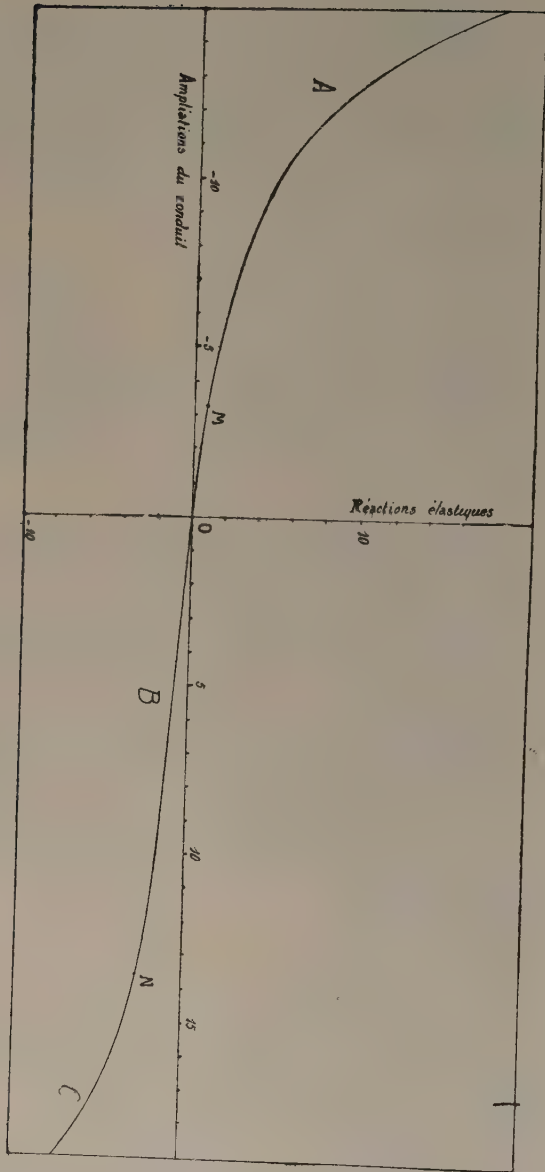


Fig. 21. Courbe III. — Ampliations d'une artère adulte en fonction de ses réactions élastiques

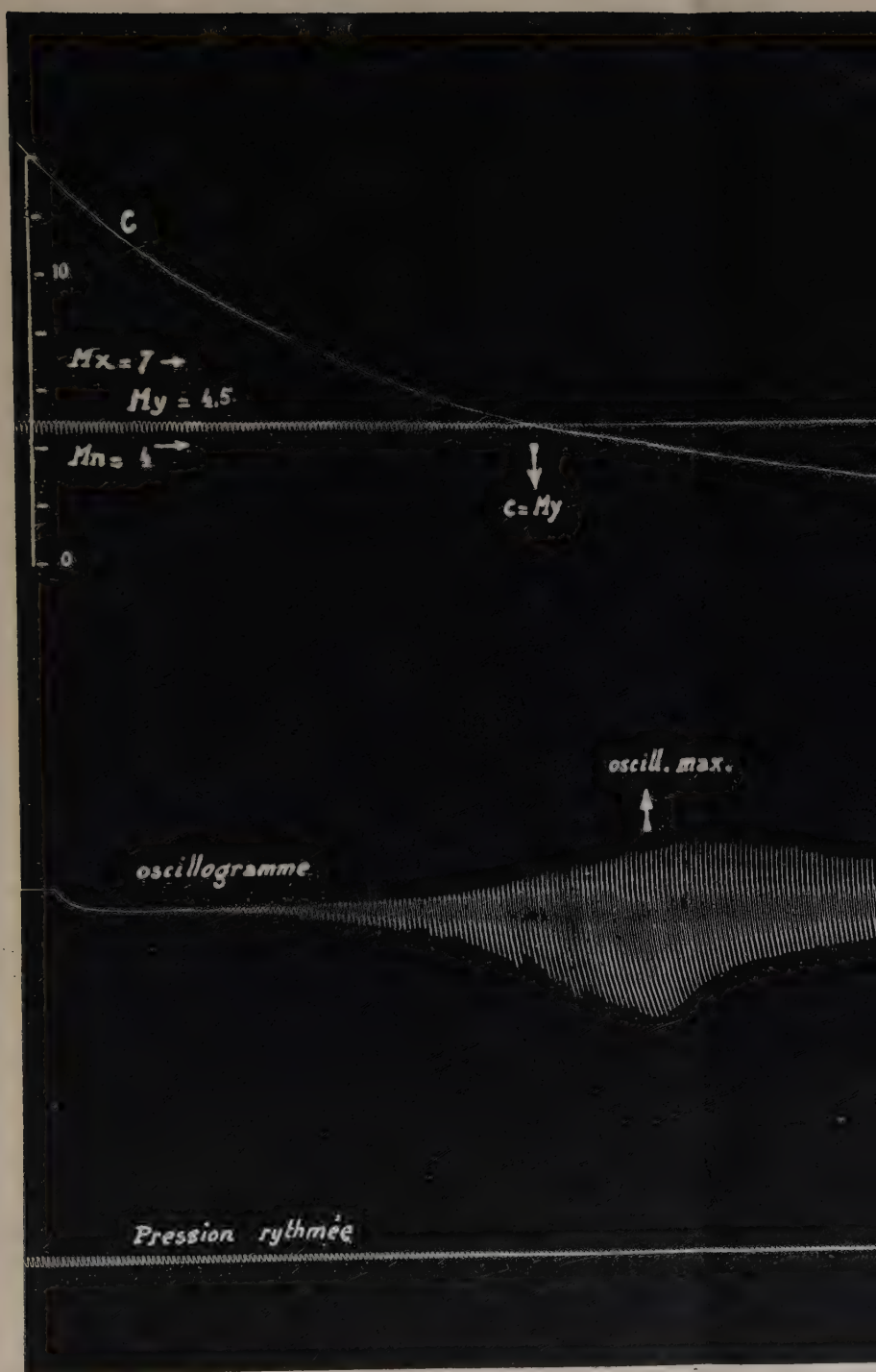


Fig. 22. — Expérience G.

d'aorte abdominale en amont de la bifurcation des iliaques primitives et l'avons conservé 15 heures dans du sérum physiologique (1). De larges plaques d'athérome offertes par le vaisseau n'ont pu être comprises dans le segment soumis aux épreuves, car elles compromettaient l'étanchéité du conduit.

La courbe des réactions élastiques obtenue est la courbe III. Elle rappelle assez fidèlement la courbe II sauf en ce qui concerne la situation du point origine (0,0) sur le dessin d'ensemble.

Plusieurs expériences oscillométriques ont pu être réalisées rapidement. Voici le protocole de l'une d'elles (Exp. G) avec le tracé correspondant qui comporte l'enregistrement automatique de toutes les données utiles.

EXPERIENCE G

Matériel: artère humaine adulte.

Données:

$$Mx=7$$

$$Mn=4$$

$$\text{Différentielle}=3$$

$$My=5 \text{ au manomètre compensateur.}$$

L'oscillation maximale est obtenue pour une contre-pression de 4.

Construction de l'oscillogramme théorique:

C	$R_1 = C - Mn$	$R_2 = C - Mx$	Amplitude proportionnelle à l'oscillation :
15	$15 - 4 = 11$	$15 - 7 = 8$	1,1
14	10	7	1,3
13	9	6	1,6
12	8	5	2
11	7	4	2,5
10	6	3	3,4
9	5	2	5
8	4	1	6
7	3	0	7,5

(1) Il est évident qu'un tel tissu a subi quelques altérations. Aussi bien ne tire-t-on de l'expérience que des indications de principe.

6	2	—1	13,5
5	1	—2	14
4	0	—3	14,5
3	—1	—4	9,5
2	—2	—5	7,5
1	—3	—6	3,5
0	—4	—7	3,5

Nous constatons ici encore :

— d'une part la concordance du chiffre de contre-pression obtenu par l'expérience avec celui que détermine la théorie lors de la production de l'oscillation maximale;

— d'autre part la non-coïncidence de l'amplitude maxima des oscillations avec la pression moyenne. Si l'on corrige la contre-pression 4 relative à l'oscillation maximale de la valeur — 1,5 de la réaction moyenne correspondante, on obtient une donnée (5,5) très proche de la moyenne des pressions extrêmes. Mais cette nouvelle quantité n'a rien de commun avec la pression moyenne proprement dite.

DISCUSSION GÉNÉRALE

Il est facile de résumer les constatations effectuées au cours de ces trois séries de recherches :

Tandis que l'oscillation maximale réalisée expérimentalement se produit pour un niveau de contre-pression exactement égal à celui qui résulte du diagramme construit en application de la théorie oscillographique fondée sur l'étude de l'élasticité artérielle, par contre, même si l'on fait subir au chiffre qu'elle repère des corrections variables avec chaque tube particulier, elle n'offre aucune relation avec la pression moyenne.

Et ceci, selon nous, explique certains écarts obtenus par quelques auteurs qui n'en peuvent donner une justi-

fication précise. Voici, par exemple, des faits observés par Van Dooren qui compare la pression moyenne oscillographique avec la pression mesurée dans l'artère à l'aide du manomètre à mercure amorti.

<i>My</i> oscillométrique	<i>My</i> manométrique
17,5	13
13	13,5
9,5	8
8,5	9
8	8
7	7
6,5	7

Dans une aussi courte statistique, deux expériences révèlent une divergence de plus d'un centimètre et demi entre les chiffres à confronter; deux épreuves consacrent un écart de un demi centimètre. Les résultats de deux séries sont seuls strictement concordants. Nous rapprocherons de ces documents les observations rapportées par Mlle L. Hennequin dans sa thèse et dont, malgré leur netteté, cet auteur n'a pas cru devoir tirer argument. Citons-les :

« Nos expériences ont été faites sur le chien. Après
« anesthésie à la morphine ou au chloralose et intro-
« duction d'une canule dans l'une des artères fémorales,
« nous appliquions sur la cuisse, de l'autre côté, la man-
« chette de l'oscillomètre de Pachon et mesurions la
« pression moyenne par la valeur de la contre-pression
« exercée au moment de l'obtention des oscillations
« maximales. La pression minima et la pression maxima
« étaient également notées.

« Aussitôt après, la canule artérielle était mise en re-
« lation avec le manomètre compensateur.

« *Les deux valeurs trouvées sont le plus souvent très*
« *discordantes*, tantôt supérieures, tantôt inférieures,
« pour le chiffre trouvé à l'oscillomètre. »

Nous pouvons de notre côté apporter au débat quelques faits cliniques recueillis dans le service de notre Maître le Docteur P. Goïnard qui veut bien nous permettre d'en faire état.

Au cours d'interventions artérielles nécessitées par certaines affections des membres, il a été possible de mesurer la pression par ponction d'une artère dénudée et de prendre simultanément une courbe oscillographique à l'aide d'un brassard de Pachon placé en amont du champ opératoire.

Les relevés graphiques que nous avons sous les yeux montrent :

— Dans un premier cas :

Pression moyenne intra-artérielle : 10,5 cm. Hg.
L'oscillation maximale se produit sous 22 cm. Hg.

— Dans un deuxième cas :

Oscillation maximale obtenue pour 14,5 cm. Hg.
La pression moyenne que la compression a fait monter en aval du brassard (1) de 9,5 à 11,5 était pour cette même compression de 10 1/4.

Dans aucun de ces cas, le fonctionnement des appareils ni l'état anatomique du membre ne laissent entrevoir de cause possible d'erreur.

En présence de tels éléments d'observation, il faut bien se demander s'il n'existe pas une coïncidence purement fortuite entre les données oscillométriques et manométriques recueillies par les auteurs qui attribuent à l'oscillation maximale la valeur de critère de la pression moyenne. Cela n'est pas impossible. En effet, dans tous les cas où la différence des pressions extrêmes est peu marquée, c'est-à-dire de l'ordre de 4 à 5 cm. de mercure (sujet normal), la pression moyenne manométrique est assez peu éloignée de la moyenne arithmétique.

(1) Nous sommes expliqué plus haut (Chap. III) sur ce phénomène.

tique des dites pressions; et l'accident culminant de l'oscillogramme est lui-même presque équidistant des accidents initial et terminal, quoique, en général, situé plus près du critère de la minima. C'est là un point d'observation courante, et il semble que ce soit le cas des 19 expériences rapportées par Duomarco et Oliver.

Voici d'ailleurs, concernant les positions relatives de ces trois accidents chez l'adulte sain de 20 à 25 ans un chiffre emprunté aux travaux de Dodel (1) :

$$\frac{My - Mn}{Mx - My} = 0,8.$$

Il existe donc une sorte de carrefour des valeurs moyennes dans la plupart des cas qui ont servi aux expériences sur le vivant, homme ou animal. Le fait serait sans doute encore plus apparent si les protocoles des travaux relatifs à la vérification du critère oscillographique de la pression moyenne mentionnaient chaque fois les valeurs de Mx et Mn . Les nombres couramment obtenus pour Mx , My et Mn sont de l'ordre de 15 à 10,5; 8 à 11; 8 à 5. Et dès lors rien ne nous interdit de penser que des comparaisons poursuivies à l'aide de la technique des ponctions artérielles (2) montreraient que l'oscillation maximale se trouve en discordance avec la pression moyenne dans les très nombreux cas où la pression différentielle est assez importante pour éloigner l'une de l'autre les données qui voisinent à l'ordinaire avec la moyenne arithmétique des pressions extrêmes.

(1) Résumés dans la *Revue Médicale de l'Office central de Médecine de l'Union nationale des Etudiants*. Clermont-Ferrand, juillet 1933.

(2) Au moment où s'achève l'impression de ce travail paraît un article de Van Bogaert, Beerens, Lequime et Samain qui, suivant précisément cette technique, arrivent à penser que « l'indice oscillométrique et la tension moyenne intra-artérielle sont deux valeurs différentes et indépendantes ». (*Presse Médicale*, 16 mai 1934).

D'où viendrait donc, sinon, la divergence entre nos expériences et celles des auteurs.

Elle peut évidemment encore tenir à la méthode, aux appareils, au matériel utilisé.

La méconnaissance de certains faits risque d'induire en erreur l'observateur dans la comparaison clinique du niveau de l'oscillation maximale et de la pression moyenne.

Nous avons vu que la confrontation faite par Boucomont a été fondée non pas sur la lecture de tracés, mais sur l'examen de deux oscillogrammes relevés par points. Peut-on supposer, dans ces conditions, que l'oscillation maximale ait pu être déterminée exactement? Cela n'est point certain si l'on songe que l'emploi du Pachon classique nécessite une double lecture et, par tant, offre une double possibilité d'erreur à chaque oscillation; que le Yacoël ne donne que des amplitudes pulsatoires minimales et permet difficilement de trancher entre deux oscillations voisines; que le Kymomètre enfin, l'appareil le plus sensible dont nous nous soyons servi, ne supprime pas lui-même toute équation personnelle bien que de maniement aisé, rapide, et de lecture simple.

D'autre part, il est courant de constater — et Barbier a justement insisté sur ce point — que la situation de l'oscillation maximale varie facilement de plus d'un centimètre de mercure entre plusieurs déterminations successives. Mc William et Melvin avaient déjà signalé le phénomène. La pression moyenne variant elle-même (on sait qu'elle suit les ondulations de second et troisième ordre) sur quelles valeurs portera la comparaison ?

Il faut penser encore que le rythme cardiaque ne représente pas une fonction mathématique périodique et que toutes les pulsations n'ont pas la même efficacité dynamique vis-à-vis de la paroi artérielle. Ainsi les dé-

terminations effectuées successivement sur le sujet vivant ne sont pas comparables entre elles.

En un tel objet, nous ne devons donc accorder de crédit qu'aux expériences qui poursuivent simultanément l'enregistrement de l'oscillogramme et l'observation de la pression moyenne.

Tel est bien le principe des méthodes de laboratoire. Or, du point de vue de la technique, le dispositif de Pachon ne laisse place à aucune aberration personnelle. Faut-il voir, dans la situation du conduit à l'étude sur le cours du liquide, la possibilité d'une perturbation du régime de l'écoulement par le jeu de la contre-pression extérieure ? Cependant le niveau de la pression moyenne reste bien une ligne horizontale, régulière sur les tracés. Il est vrai que l'enregistrement du cycle de la pression ne se trouve pas mentionné et ne peut nous renseigner sur les variations possibles de la différentielle.

L'observation poursuivie par Vaquez et ses élèves, sur l'animal vivant, du battement artériel à la vue et par l'enregistrement graphique paraît également correcte. Néanmoins, la disposition du manomètre compensateur placé par les auteurs à l'extrémité distale du tube comprimé peut modifier la pression enregistrée par celui-ci, en raison des phases d'occlusion de l'artère lors de la diastole où la canalisation générale et le manomètre se trouvent isolés l'un de l'autre.

Reste à tenir compte des perturbations de l'élasticité de l'artère par le jeu des nerfs vaso-moteurs et de l'influence de ceux-ci sur le tonus vasculaire. Ces faits sont actuellement mal élucidés et le problème des actions en cause sur le tracé reste entier.

Enfin la nature même du matériel employé n'intervient-elle pour rien ? Les tubes de caoutchouc dont use Pachon sont-ils comparables dans leur courbe élastique à ceux que nous avons utilisés dans notre étude générale ?

Des conditions particulières se trouveraient-elles réalisées dans tous les vaisseaux vivants sur lesquels les auteurs ont poursuivi leurs études cliniques et les vérifications du critère de l'oscillation maximale ? C'est une question que nous ne pouvons trancher pour le moment. Les recherches qu'il serait désirable de conduire à ce sujet nous paraissent délicates à mener sur le vivant. Nous devons dire cependant que la condition envisagée ne s'est rencontrée dans aucun des cas où intervient le matériel inanimé (quoique varié) que nous pûmes employer.

Ces réserves faites, nous croyons pouvoir conclure à nouveau :

— que l'oscillation maximale observée sur une dérivation d'un circuit n'est, dans le cas physique général, nullement admissible comme critère de la pression moyenne qui règne dans le circuit. Nous en apportons la preuve expérimentale.

— que si toutefois, dans certaines circonstances, cette oscillation maximale paraît correspondre au niveau de la pression moyenne existant dans le conduit, aucune des expériences effectuées sur le matériel biologique dont nous avons pu disposer ne nous a permis de contrôler le fait avec exactitude.

Une dernière constatation, en apparence accessoire, apporterait un argument de nature à ruiner la signification tensionnelle de l'oscillation maximale. Dodel signale, en effet, que le niveau de l'oscillation maximale s'élève en général lorsque l'on passe du bras à l'avant-bras (1).

(1) Dodel donne du phénomène une interprétation personnelle que nous ne discuterons pas. Nous lui empruntons seulement l'observation du fait brutal. Il est malaisé à vérifier. Les différences observées par nous à l'aide de l'appareil de Pachon et du Kymomètre nous semblent être de l'ordre de grandeur des erreurs expérimentales, quoique se manifestant habituellement dans le sens indiqué.

Or il est nettement prouvé depuis Marey — et c'est là une nécessité hydraulique absolue — que la pression décroît le long d'une conduite quelconque dans le sens du courant.

THÉORIE DE L'OSCILLOGRAMME

Mais s'il n'est pas démontré que l'oscillation maximale doive être considérée comme le critère clinique assuré, le procédé de choix pour repérer la pression moyenne, on ne manquera pas de se demander ce que peut signifier ce sommet dans la courbe des oscillations.

Nous ne pensons pas que ce maximum de la fonction amplitude oscillatoire soit en rapport avec une caractéristique quelconque de la pression artérielle. Cela serait trop simple, et, s'il faut donner une interprétation du phénomène, nous voulons la trouver dans la genèse même de l'oscillogramme que nous avons exposée plus haut. Elle nous explique les relations naturelles qui existent entre les accidents de la courbe des réactions élastiques d'un conduit et les accidents du diagramme des oscillations qui prennent naissance sous le double jeu d'une pression intérieure rythmée et d'une contre-pression extérieure continuellement dégressive.

PRINCIPE.

Considérons schématiquement (figure 23) les trois tronçons A, B, C de la courbe I par exemple. A et B se raccordent en M , B et C en N . Et soit O le point remarquable où la courbe change le sens de sa concavité. Les ordonnées de ces points sont m , n , et o .

Etudions le développement de l'oscillogramme tandis que la contre-pression dans le manchon décroît d'une valeur élevée jusqu'à zéro.

Tant que R_2 reste supérieur à m , l'amplitude α de l'oscillation qui représente la différence entre D_1 et D_2 , (dimensions du conduit relatives respectivement à R_1 et R_2) croît légèrement, la pente de la courbe en A diminuant progressivement. Nous avons ainsi la zone initiale a de l'oscillogramme.

A partir de M , la pente de la courbe décroît brusquement. Donc, lorsque R_2 franchit m , α croît rapidement. C'est la zone des oscillations croissantes, b .

Puis R_2 franchit o . Les oscillations croissent moins rapidement pour atteindre leur maximum lorsque R_1 et R_2 encadrent o . On a les zones c et d de l'oscillogramme.

R_2 dépasse ensuite n : les oscillations décroissent rapidement. C'est la zone e de l'oscillogramme.

Enfin, R_1 franchit n . Les oscillations décroissent alors d'une façon moindre et régulière, donnant la zone f de l'oscillogramme.

Il résulte de cette analyse que les accidents I, II, et III de l'oscillogramme (répondant respectivement aux lieux de jonction de a et b , de e et f) et l'oscillation maximale dépendent de l'existence des points M, N, O de la courbe d'élasticité artérielle.

Quels rapports peut-on donc établir entre ces accidents et les trois pressions Mx , Mn et My ?

Il est facile de constater que :

1° Lors de l'accident I, critère de la maxima de Pachon, on a

$$P = C - m.$$

m étant relatif à R_2 ,

$$Mx = C - m.$$

La maxima est donc donnée, dans le cas d'un tuyau quelconque, par la contre-pression relative à l'accident I diminuée de la valeur de l'ordonnée du point M .

Le principe du critère de Pachon est ainsi exact à condition de le corriger par une donnée que seule permet d'obtenir la connaissance de la courbe d'élasticité. Nous verrons d'ailleurs, dans certains cas particuliers de la pratique biologique, que cette correction se réduit à si peu de chose que le critère pourra être tenu pour exact et tel que :

$$Mx = C.$$

2° Le même raisonnement vaut identiquement pour l'accident II et Mn .

$$Mn = C - n.$$

Il faut donc faire subir, pour avoir Mn , la correction $-n$ à la valeur de C relative à l'accident II. Nous étudierons ce que cette correction représente pour des conduits biologiques tels que des artères.

3° Quant à l'accident III, critère habituel de la pression moyenne, nous avons constaté qu'il est sous la dépendance de la position du point o que doivent encadrer R_1 et R_2 d'une certaine manière. La contre-pression qui détermine cet encadrement ne possède aucun lien naturel avec la pression moyenne. Elle résulte, d'une part de la forme de la courbe, et d'autre part (à moins que la courbe n'admette O pour centre de symétrie, ce qui n'est pas le cas habituel) de l'écart des pressions extrêmes.

Appliquons maintenant ces notions théoriques aux différents tubes que nous avons étudiés, ou plutôt, confrontons l'hypothèse avec l'expérience dans les diverses circonstances proposées.

CAS GÉNÉRAL.

Dans l'éventualité du tube de caoutchouc qui schématise pour nous le cas aux conditions quelconques, nous constatons :

— 1° que l'accident I est assez mal indiqué et que la valeur de la maxima se déduit de la formule

$$Mx = C - m.$$

Les chiffres sont les suivants :

Expériences	Mx oscillométrique	Mx manométrique
A	26—13=13	12,4
B	25—13=12	11,6
C	22—13= 9	9,4

— 2° que l'accident II est encore moins bien marqué que le précédent. Le fait est en accord avec le caractère de la courbe I en N dont le rayon est relativement grand. Néanmoins l'application de

$$Mn = C - n$$

donne, dans les limites où l'on croit pouvoir s'assurer des points N et II une certaine approximation.

Expériences	Mn oscillométrique	Mn manométrique
A	11—5=6	6,4
B	10—5=5	4,4
C	13—5=8	7

— 3° En ce qui concerne l'oscillation maximale, nous remarquons que le point O a pour coordonnées —15 et 9,5. D'autre part, la distance des réactions extrêmes est, pour les trois expériences, inférieure à 8. La forme de la courbe au voisinage de O étant régulière et presque symétrique par rapport à ce point dans un intervalle d'ordonnées de 10 à 16, o doit se trouver sensiblement équidistant de R_1 et R_2 lors de l'oscillation maximale. C'est bien ce que nous avons constaté. En d'autres termes, le niveau de l'accident III se trouve lié, sans erreur possible, à la situation du point triple de la courbe des réactions élastiques du conduit.

CAS DE L'ARTÈRE JEUNE.

C'est celui de l'artère de cordon qui nous a servi à établir la courbe II. Nous pouvons faire les remarques suivantes :

— 1° En ce qui intéresse le critère de la maxima, si nous appliquons les principes développés précédemment, nous constatons que l'ordonnée du point *M* est nulle. Donc :

$$Mx = C$$

C'est bien ce que donne l'expérience. Sur les deux oscillogrammes construits graphiquement, l'accident I a bien lieu pour une contre-pression égale à la maxima. Les tracés enregistrés sont malheureusement très étalés et peu lisibles.

— 2° Pour le critère de la minima, la lecture des oscillogrammes confirme la théorie. On y voit d'une part, tant sur le tracé expérimental que sur la construction géométrique, combien est peu marqué l'accident II, ce qui tient certainement au peu de netteté du changement de courbure en *N* du diagramme d'élasticité. D'autre part, si l'on veut repérer grossièrement le point de changement de pente, la valeur de *Mn* donnée par la formule

$$Mn = C - n$$

sera : $Mn = 1 + 3,4 = 4,4$ dans l'expérience E comme dans l'expérience F, valeur conforme à la réalité.

— 3° Quant à la pression repérée par l'oscillation maximale, elle est assez difficile à déterminer sur l'oscillogramme pratique. Toutefois elle ne répond pas au chiffre de la pression moyenne. Elle se trouve, dans les deux expériences, à un niveau inférieur à celle-ci, et nous remarquons que l'oscillation maximale se produit pour $C = 4$ qui fait exactement encadrer aux réactions R_1 et R_2 le point triple de la courbe II.

CAS DE L'ARTÈRE ADULTE.

Répetons ici encore notre confrontation.

— 1° La remarque déjà faite pour l'artère jeune s'applique à la maxima, en sorte que le critère de celle-ci doit être considéré comme exact sans correction sensible.

L'expérience donne :

Mx oscillométrique = 7; Mx manométrique = 7.

— 2° L'accident II demeure ici encore malaisé à repérer sur le tracé. Cela tient en partie à la déformation imposée à l'oscillogramme par le mode non linéaire de la décompression. Si l'on croit pouvoir cependant le placer entre 1 et 1,5, on a, en corrigeant ce chiffre par l'ordonnée du point N,

$$Mn = 1,5 + 2,5 = 4$$

ce qui est conforme à l'expérience.

— 3° Pour l'accord entre la pression moyenne et l'oscillation maximale, l'examen du tracé ne laisse place à aucun doute : cette dernière se produit à un niveau nettement inférieur à My . Et les réactions extrêmes du conduit, lors de l'oscillation maximale, encadrent l'ordonnée du point triple de la courbe d'élasticité.

•
• •

Il n'échappera pas au lecteur que les opérations d'arithmétique simple auxquelles nous venons de nous livrer ne sont pas d'une rigueur parfaite (1). Aussi bien,

(1) Nous avons négligé en particulier l'influence de l'inertie des appareils dans le déterminisme de l'inscription des battements de l'artère. Nous ne saurions ignorer cependant que cette inertie n'est pas nulle et modifie dans une mesure qu'il nous est difficile de fixer le développement des phénomènes dont nous poursuivons l'analyse. Peu importe. Il nous suffit d'avoir pu montrer dans quel sens intervient l'élasticité des vaisseaux qu'explore la manchette de Pachon.

les phénomènes biologiques s'accommodent-ils fort rarement des exigences du calcul.

Mais nous n'avons donné cet exposé que pour un schéma et si nous avons dû choisir quelques fois la situation de points tels que M , N ou O avec une certaine hésitation, nous croyons avoir souligné en même temps que la lecture d'un oscillogramme, aussi correctement pris soit-il, laisse la part assez large aux équations personnelles dans la fixation des accidents qui prétendent traduire Mx et Mn .

Dans la réalité, l'oscillographie demeure un moyen — cliniquement suffisant parfois — mais trop imprécis d'information des pressions artérielles (1) pour qu'on puisse utiliser les chiffres qu'elle donne à des évaluations mathématiques sur les fonctions circulatoires.

Nous ne saurions pourtant, après avoir analysé (avec des moyens sans doute encore grossiers et que désavouerait un hydraulicien averti) le mécanisme rudimentaire des battements d'une artère comprimée, croire et laisser croire que ce procédé d'examen ne soit fécond en enseignements. Il contient et révèle à notre sens toute l'importante question de la valeur élastique des artères.

Une courte digression nous sera permise sur ce sujet. R. Fabre dans son mémoire du concours d'agrégation, a voulu voir dans l'angle que fait, en-deçà de la minima, la courbe oscillatoire (voisine en cet endroit d'un segment de droite) avec l'axe des contre-pressions, une quantité proportionnelle au module d'élasticité de l'artère.

Nous ne ferons que deux remarques.

La première est que le module d'élasticité d'un corps aussi peu homogène en ses propriétés varie avec cha-

(1) Il semble que ce soit aussi l'opinion de Giroux. (*Presse Médicale*, 14 octobre 1933).

que stade de ses déformations. On ne peut donc parler *d'un module d'élasticité* pour une artère.

La seconde est que la tangente à l'oscillogramme est en relation en tout point, par sa pente, avec les modules d'élasticité relatifs aux deux réactions extrêmes de l'artère pour une contre-pression donnée. Le problème est très complexe et porte sur une différence de modules. Il semble fort malaisé, à l'analyse, de connaître une valeur proportionnelle à chacun d'eux.

Ce qui résout par contre entièrement la question, c'est l'obtention de la courbe des réactions élastiques telle que nous la déterminons. Or, si l'oscillographie permet de s'en faire une idée grossière avec un peu d'habitude et d'imagination, elle n'offre pas la possibilité de la construire exactement.



Au moment d'achever cet ouvrage, il nous est donné de prendre connaissance des très intéressantes études de De Ruyter sur la question.

Cet auteur que nous sommes heureux de remercier bien vivement pour l'extrême obligeance avec laquelle il nous fit parvenir les exemplaires particuliers de ses publications, place nettement les phénomènes oscillographiques sur le plan des qualités intrinsèques de la paroi artérielle.

Après avoir insisté sur la part qui revient au diamètre de l'artère dans le déterminisme de l'oscillation situant la maxima, à l'extensibilité de ce diamètre dans la production de l'oscillation indiquant la minima, et à l'association de ces deux éléments dans la genèse de l'oscillation maximale, il étudie dans quel sens les combinaisons possibles du diamètre vasculaire et de la rigidité pariétale sont capables de modifier le schéma type de la courbe oscillométrique.

Ce schéma est analysé avec une grande clairvoyance par A. Fritz qui obtient à l'aide d'un dispositif expérimental peu différent de celui que nous utilisons, en même temps que l'oscillogramme d'un segment de conduit élastique, les courbes pléthysmographiques des volumes systolique et diastolique de ce segment.

Chacune de ces courbes a la forme générale de celles que nous construisons rigoureusement par points sous le nom de diagramme des réactions élastiques du conduit. Leur décalage objective sous chaque contre-pression l'amplitude de la pulsation telle que nous la concevons dans le présent chapitre de notre travail.

Le graphique de l'auteur est extrêmement frappant de netteté et permet de comprendre très simplement le processus des accidents de l'oscillogramme.

Sans doute les résultats présentés restent-ils entachés d'une légère imprécision. Le mode d'obtention des tracés pléthysmographiques fait intervenir l'inertie d'une colonne d'eau oscillante et fausse ainsi quelque peu les mesures. D'autre part, la notion absolue de réaction élastique des artères ne paraît pas suffisamment mise en valeur, et les déterminations de la dilatabilité vasculaire et du diamètre artériel doivent être révisées dans une certaine mesure en tenant compte des données physiques que nous apportons au problème.

Notre travail fait intervenir une seule notion prise dans un sens très large : l'élasticité qu'il nous paraît bien difficile de dissocier en ses éléments (forme et matière); nous réservons pour plus tard l'examen des différents types de courbes en fonction de cette élasticité.

Néanmoins, c'est aux auteurs belges que revient le mérite d'avoir les premiers réalisé une étude effective sur le jeu des ampliatiions artérielles dans la production du tracé oscillographique. Le lecteur qui voudra bien se reporter aux articles cités et qu'il faut lire dans leur

intégrité ne trouvera aucune difficulté à superposer les interprétations de Fritz et de De Ruyter aux nôtres.

CONCLUSIONS

De cette étude critique et des documents graphiques apportés au débat, il semble qu'on soit en droit de retenir, avant toute chose, que le phénomène princeps observé par Pachon d'une coïncidence entre les niveaux de l'oscillation maximale et de la pression moyenne n'a pas la valeur d'une loi générale, mais seulement d'un fait occasionnel, car, dans des conditions semblables, mais avec un matériel différent, nous enregistrons des résultats manifestement très divergents.

D'un autre côté, la théorie qui tend à expliquer les constatations de Pachon en les étayant de raisonnements généraux sur l'hydraulique ne peut être soutenue. Mécaniquement et physiquement elle n'est fondée que sur des apparences; mais surtout, elle est en contradiction avec certains de nos tracés d'une manière trop flagrante.

Une autre théorie, exposée dans son principe essentiel, permet de donner du déterminisme des accidents de l'oscillogramme une interprétation plus exacte, et d'en percevoir à jour la signification dans un esprit bien différent du sens habituellement admis.

Nous désirons souligner ici particulièrement l'intérêt schématique de cette théorie à coup sûr incomplète. Elle ne porte en effet que sur la mise en jeu de l'élasticité artérielle. L'expérience nous montre que celle-ci suffirait à soi seule à expliquer la forme et les détails du tracé oscillatoire. Nous ne voulons pas dire que seule l'élasticité vasculaire intervienne dans les phénomènes. Ceux-ci se trouvent fort probablement modifiés par l'existence d'autres éléments de l'artère, et en premier lieu par les éléments contractiles dont il est

certain malaisé d'évaluer l'influence. Il nous suffit d'avoir distingué comment semblent se conduire les tuniques les plus accessibles à l'exploration physique et sans doute les plus constantes dans leurs réactions : les tuniques élastiques.

Ces conclusions se trouvent en accord avec les prévisions de quelques auteurs qui ont déjà soupçonné le rôle de l'élasticité artérielle dans l'élaboration de l'oscillogramme sans cependant en avoir pu apporter de preuves tangibles.

*
**

Et maintenant, pour donner à la question son véritable intérêt, posons-la sur le terrain des applications médicales : les déductions tirées des faits observés à l'aide des dispositifs expérimentaux peuvent-elles être transportées sans modifications dans le domaine clinique ?

Tout d'abord, le choix du matériel d'étude semble imposer quelques justes réserves. Une substance comme le caoutchouc, des tissus privés de vie et plus ou moins altérés par la cytolysé sont-ils comparables aux enveloppes des vaisseaux en place ? Non sans doute. Mais sur ce matériel s'est révélée l'inexactitude des lois considérées comme générales et établies dans des conditions similaires. Ces lois ne sont donc plus, pour nous, générales, et leur vérification en biologie devient un cas particulier, non plus une simple application. Comme telles, elles demandent un complément de preuves pour être admises.

Autre chose est d'adopter une théorie constructive de l'oscillogramme ; mais nous nous sommes expliqué sur ce point assez nettement.

Enfin, après avoir raisonné sur un vaisseau isolé, on ne manquera pas d'objecter que sur le sujet entier, vi-

vant ou non, l'interposition entre l'artère et le brassard pléthysmographique d'un matelas de tissus fausse toutes les données. Dans la réalité, l'influence de cette masse de substances variées est à peine marquée, car, essentiellement peu compressible (seule joue l'élasticité de matière qui est, nous l'avons constaté, assez grande), elle transmet fidèlement volumes et pressions. Une telle réfutation n'est pas une vue théorique de l'esprit. Après Muller et Blauel, Dehon, Dubus et Heitz, Mlle Hennequin en apporte des preuves dans la partie expérimentale de sa thèse.

Henson et Janway avaient du reste obtenu, en prenant comparativement l'oscillogramme des deux humérales d'un sujet présentant une atrophie musculaire unilatérale très accentuée, des courbes absolument superposables.

Rien ne s'oppose donc en principe à l'extension pratique des résultats que nous avons obtenus au laboratoire. Il appartient à l'expérimentation clinique poursuivie avec des méthodes rigoureuses de vérifier ou d'affirmer le bien-fondé de notre étude sur son propre terrain.

CHAPITRE V

LES APPLICATIONS DE LA TENSION ARTÉRIELLE MOYENNE EN CLINIQUE

INTÉRÊT ET VALEUR

L'étude de la pression artérielle moyenne en clinique, malgré les travaux nombreux qui lui ont été consacrés, n'est encore qu'à son début. Le recul du temps n'est pas actuellement suffisant pour permettre un travail d'ensemble sur le sujet et ce chapitre sera bref.

*
* *

Les différentes méthodes destinées à mesurer la pression artérielle moyenne au lit du malade sont d'un intérêt très inégal.

La presque totalité des recherches a été basée sur l'emploi de la méthode oscillométrique. Or, nous venons de discuter assez longuement la valeur de ce procédé de repérage des pressions pour pouvoir affirmer, quant à l'objet qui nous occupe, et dans l'état de nos connaissances, que :

Premièrement.

Dans tous les cas où l'on veut pouvoir accorder à un chiffre une signification réellement tensionnelle, soit que l'on désire estimer un travail, mesurer un effort, évaluer une résistance, déterminer une charge et sa répartition, ce n'est pas au critère de l'oscillation maximale ou à ses dérivés qu'il faut s'adresser non plus qu'à tout autre procédé indirect; mais il convient d'avoir recours à la méthode directe, indiscutable, de la ponction d'artère et la mise en relation de la lumière de celle-ci avec un manomètre amorti.

Il suffit, pour toute garantie, de s'assurer du calibre de son aiguille, de contrôler l'étalonnage de son manomètre et d'opérer toujours dans des conditions parfaitement définies.

Il serait, à notre avis, prudent de reprendre sur ces bases — comme ont commencé à le faire Laubry et son école — toutes les expériences dont le but biologique est l'étude hydraulique de la circulation. On atteindra par là la vraie pression moyenne dont l'intérêt n'est pas niable mais qu'il faut, ce nous semble, limiter à son sens physique strict, correct, essentiel, comme nous avons tenté de le mettre en lumière dans notre chapitre II.

Deuxièmement.

Dans tous les cas où la clinique a noté le chiffre de contre-pression répondant à l'oscillation maximale, ce n'est pas la tension moyenne qu'elle obtient (1), mais le point critique particulier d'un phénomène élastique complexe où interviennent au même titre la paroi de l'artère et le contenu mouvant de celle-ci.

(1) Cette opinion a déjà été soutenue par Alexandre et Moulinier.

Nous ne pensons pas diminuer — bien au contraire — l'intérêt qui s'attache à la situation d'un tel accident de l'oscillogramme en lui déniaut toute valeur de repère tensionnel.

De très nombreuses recherches qui ont été conduites jusqu'ici sur l'oscillation maximale et son niveau commencent à se dégager un certain nombre de notions qu'il n'entre pas dans nos vues de relater ici dans leur détail. D'autres notions se feront sûrement jour lorsqu'on voudra demander à l'oscillogramme de traduire les particularités élastiques des artères, ce qui nous paraît son vrai rôle (1).

*
**

De toute l'importante documentation parue, nous ne pouvons donc faire état pour l'étude clinique de la pression moyenne que des recherches encore limitées où la ponction d'artère a été pratiquée.

Voici quelques constatations auxquelles sont parvenus différents auteurs à l'aide de cette dernière technique.

Tension moyenne normale chez l'homme à la fémorale.

Les chiffres relevés au cours de multiples déterminations par Laubry, Beerens et Van Bogaert chez l'Homme adulte à l'état de santé et exempt de toute lésion cliniquement appréciable du cœur ou des vaisseaux varient entre 7,5 et 9,5 cm. de mercure.

La maxima et la minima oscillent respectivement dans ces cas autour de 14 pour la première et 7 pour la seconde.

(1) Cf. les travaux de De Ruyter et de Laubry.

*Répartition de la pression
moyenne dans l'organisme.*

Nous trouvons les éléments de cette étude dans un travail récent de Van Dooren (de Bruxelles). Comparant les chiffres obtenus à la radiale et à la fémorale avec ceux recueillis à l'humérale, nous constatons d'après le tableau donné par cet auteur (12 cas) :

- 1° — que la pression humérale est supérieure à la pression radiale 4 fois (de 0,2 à 0,6 cm. de mercure).
- 2° — que la pression humérale est inférieure à la pression radiale 7 fois (de 0,5 à 2,5 cm. de mercure).
- 3° — que la pression humérale égale la pression radiale une fois.

Comment interpréter ces résultats ?

Les physiologistes ont toujours montré, conformément aux opinions de Poiseuille, qu'il se fait dans l'arbre circulatoire une chute régulière de la tension des gros vaisseaux vers les capillaires. Marey a vérifié le fait avec son manomètre compensateur et étudié les liens entre pression moyenne et vitesse du sang. Fick, Volkam, Dawson chiffrèrent cette dégradation tensionnelle chez le Chien, chez le Veau.

Van Dooren enregistre des résultats paradoxaux lorsqu'il trouve une pression radiale supérieure à la pression humérale qui se manifeste en amont.

Faut-il, comme lui, en conclure que la pression moyenne contient des éléments imprévisibles et un peu mystérieux ? Faut-il en prendre argument pour soutenir les théories des facteurs périphériques de la circulation artérielle que défend Wybauw ?

Ne doit-on pas plutôt se demander si quelque détail de technique ne pourrait expliquer cette invraisemblance ? Nous ne savons pas si le membre exploré a été maintenu dans une position rigoureusement horizontale, si les déterminations manométriques ont été simultanées, ni quel était le calibre de l'aiguille à ponction.

Pour ce qui concerne les relations entre la pression moyenne dans la fémorale et la même pression dans les artères du membre supérieur, les faits sont les suivants :

- 1° — La pression dans la fémorale est inférieure à la pression radiale 4 fois (de 0,2 à 1,5) et à l'humérale 4 fois (de 0,2 à 1,5).
- 2° — La pression dans la fémorale est supérieure à la pression radiale 3 fois (de 1 à 1,4) et à la pression humérale 2 fois (de 0,5).

Ici, aucune notion classique n'empêche *a priori* d'accepter ces chiffres. Mais ceux-ci sont tels qu'ils n'imposent aucune conclusion évidente. Il serait utile de multiplier les déterminations comparatives si l'on désire se faire une opinion.

Tension moyenne et forme du pouls.

Laubry, Beerens et Van Bogaert, toujours chez des sujets normaux, croient pouvoir mettre en évidence une relation habituelle — on l'observerait dans 80 % des cas — entre le niveau de la tension moyenne en un point et l'inclinaison générale en ce point de la courbe pulsatile après la maxima. La vitesse de chute de la tension systolique serait donc l'un des facteurs d'élévation (ou d'abaissement) de la pression artérielle moyenne.

Le fait est fort intéressant à constater pour nous. Il s'accorde avec des notions théoriques développées au début de ce travail. L'étude attentive de cette relation est à poursuivre. Elle est susceptible de nous rendre prudents dans l'interprétation des formules d'efficacité circulatoire et d'eusystolie.

*Rapports entre la tension moyenne
et les tensions extrêmes.*

Si les variations de la maxima et de la minima sont séparément ou conjointement incapables de faire prévoir la valeur de la tension moyenne ou d'expliquer ses variations, il n'en est pas moins vrai que la pression moyenne est influencée par les taux respectifs de Mx et Mn .

L'influence de la minima est la plus évidente et semble la plus importante (Van Bogaert).

Van Dooren, de son côté, fait remarquer que :

— chez les sujets à artères indurées la pression moyenne surpasse la minima de 2,77 cm. de mercure (chiffre moyen).

— chez les sujets à artères souples le même écart se réduit à 2,1 (chiffre moyen).

*Tension moyenne
et fréquence du cœur.*

En observant des sujets atteints de tachycardie paroxystique d'une part, en paralysant chez d'autres sujets le vague à l'aide d'atropine, en soumettant enfin certains patients à un effort rapide (ce qui représente évidemment de moins bonnes conditions d'observation), Beerens, Lequime, Samain et Van Bogaert arrivent aux conclusions suivantes :

« ... L'accélération du cœur modifie le plus souvent
« toutes les caractéristiques tensionnelles à la fois. La
« tension moyenne suit les variations de la maxima et
« de la minima. Lorsque la minima s'élève, la moyenne
« s'élève également, à moins que la maxima (1) ne soit
« abaissée. Quoiqu'il soit alors difficile de faire la part
« de l'accélération et des variations de la maxima et
« de la minima dans ces modifications de la moyenne,
« certaines expériences montrent cependant clairement
« l'influence de la fréquence du cœur sur la moyenne. »
On peut voir par exemple, alors que la maxima n'a pas
changé du tout et que la minima s'est à peine élevée
de 5 mm. de mercure, la moyenne augmenter de 1 cm.
parallèlement à une accélération du cœur dont le rythme
passait de 75 à 120.

« L'accélération élève donc la tension moyenne... »
« la bradycardie réalisera des effets inverses... »

A vrai dire, les auteurs semblent s'être proposé d'étudier les variations de la tension moyenne indépendamment de toute modification des pressions extrêmes. Le problème ainsi posé nous paraît sans grande portée.

Du point de vue hydraulique, en effet, il est facile de prévoir que, si l'on enregistrait la courbe du pouls en réalisant une tachycardie, toutes choses restant égales du côté de Mx et Mn , on aurait :

1° — si l'accélération du rythme entraîne un raccourcissement de la diastole plus marqué que celui de la systole, une élévation de My ;

2° — si au contraire la systole est plus affectée que la diastole, un abaissement de My ;

3° — enfin si les rapports de temps sont conservés dans la transformation de figure, une moyenne non modifiée.

(1) Le texte dit: minima. La compréhension du contexte, sans trahir les auteurs, nous paraît impliquer: maxima.

Mais au point de vue pratique, la question est sans intérêt évident. Ce qu'il importe de retenir des très scrupuleuses expériences des auteurs, c'est que l'accélération du cœur chez un sujet sain, au repos, non fébricitant et soustrait à toute agression étrangère est capable d'élever ou d'abaisser la pression artérielle moyenne.

Dans une tachycardie paroxystique, en effet, la moyenne passe de 8 à 9,5, tandis que le pouls revient de 200 à 90, que la maxima s'élève de 8,5 à 10,5 et que la minima descend de 7,5 à 7.

Dans l'épreuve de l'atropine, quatre fois la moyenne s'abaisse légèrement pour un accélération pulsatile de 18 à 20; et deux fois cette même pression subit une ascension de 10 à 30 mm. de mercure pour un accroissement de fréquence de 45 pulsations.

Il serait utile de poursuivre ces expériences en enregistrant le sphygmogramme.

Tension moyenne et viscosité sanguine.

Toutes choses égales du côté des tensions extrêmes et de la tension veineuse, Lequime et Van Bogaert ont étudié les rapports de la pression moyenne et de la viscosité du sang artériel. Ils ne peuvent tirer de conclusions que des expériences de dilutions artificiellement provoquées. Celles-ci ne purent être suffisamment poussées que chez l'animal. Elles montrent qu'il existe un rapport certain entre le niveau de la pression moyenne et la viscosité artérielle.

« La tension moyenne varie dans le même sens que la viscosité à condition que les autres facteurs susceptibles d'agir sur cette première ne soient pas modifiés ». Mais « il semble délicat, sinon impossible, de tirer de l'étude de la viscosité artérielle une indication utile et

précise pour justifier le taux, normal ou anormal, de la tension moyenne, car dès que l'un des éléments de la régulation tensionnelle se trouve modifié, en général tous les autres se modifient également. »

Ici encore il ne semble pas bien utile de rechercher des modifications de la pression moyenne indépendantes des pressions extrêmes et les résultats globaux des auteurs nous paraissent constituer une base de travail intéressante.

Tension artérielle moyenne et tension veineuse.

Chez un grand nombre de sujets examinés (101) Lequime, Samain et Van Bogaert n'ont cru pouvoir mettre en évidence de relations entre la tension moyenne mesurée à la fémorale et la pression veineuse envisagée au pli du coude, toutes choses égales d'ailleurs (pressions extrêmes, viscosité, rapidité et forme du pouls).

Expérimentant chez le Chien, ils réalisent une hypertension veineuse par ligature de la veine cave dans l'abdomen. Dans ces conditions, la tension moyenne augmente corrélativement avec la minima.

En même temps la pression moyenne subit un décalage vers la maxima (qui est normale ou abaissée).

Il est donc probable, selon les auteurs, « qu'au cours de la déficience contractile du myocarde, l'élévation de la pression est liée pour une grosse part à l'hypertension veineuse. »

Activité musculaire et pression moyenne.

Marey observe chez le Cheval un abaissement de la pression moyenne de 2 cm. après l'effort.

Tangl, Zuntz enregistrent chez le Chien une augmentation de cette même donnée au cours du travail.

On pouvait se demander quelles seraient les modifications de la pression moyenne chez l'Homme en fonction de son activité musculaire, à l'occasion d'un effort modéré fourni par des sujets entraînés ou non et dans la fatigue.

Dans une note de MM. Beerens, Lequime, Samain et Van Bogaert, nous trouvons à ce sujet des observations précises; une élévation nette de la tension moyenne (en général plus importante que l'élévation de la maxima) accompagne et suit l'effort musculaire un peu vif. Chez les sportifs comme chez les non-sportifs les chiffres observés sont de l'ordre de 1 à 3 cm. de mercure.

Variations de la pression moyenne avec l'âge.

L'âge semble élever le chiffre de la tension moyenne (Laubry, Beerens, Van Bogaert).

Néanmoins chez des sujets normaux, jeunes et âgés ayant des pressions maxima et minima normales, un cœur normal, on peut observer une tension moyenne dépassant 10 cm. de mercure. Il est donc difficile de fixer des limites normales à la pression artérielle moyenne.

La pression moyenne en pathologie.

Les documents sont encore rares sur la question. Nous ne saurions donc l'esquisser avec fruit. Mais nous espérons que les recherches des auteurs parisiens auront leur écho légitime et que la multiplication des faits

permettra d'apporter des vues nouvelles sur de nombreux points de la pathologie en général et de la pathologie cardio-vasculaire en particulier.

*
* *

La littérature nous apporte par ailleurs la connaissance d'un chiffre habituel, dit normal, situant l'oscillation maximale chez l'adulte sain, l'enfant, la femme, le vieillard.

On peut en retirer, selon les uns, la foi en l'invariabilité de ce chiffre au cours de l'effort, de la gestation, du sommeil, de la digestion, ou, au rebours, selon les autres, l'assurance de ses changements sous l'effet des mêmes influences physiologiques.

Les travaux d'hôpital et de laboratoire nous disent également le rapport qui existe entre l'élévation ou l'abaissement de l'oscillation maximale et les différents types de formules tensionnelles; ils nous indiquent le comportement du maximum d'amplitude des oscillations artérielles dans les diverses cardiopathies systématisées et dans maintes autres maladies de l'organisme.

Ils ne comportent pour nous aucune signification quant au chiffre de la pression artérielle moyenne.

Niveau normal de l'oscillation maximale.

Pour Vaquez, le niveau normal de l'accident médian de l'oscillogramme est à 9 cm. de mercure.

Pour Dodel, il est compris entre 8 et 10 cm.

Chez la femme, selon Mlle Hennequin, il est inférieur de 8 à 10 mm. de mercure à ce qu'il est chez l'homme.

On n'observe pas avec l'âge de différences bien sensibles.

Bezault reproduit les chiffres suivants :

de 10 à 25 ans :	8 à 9 cm. de mercure ;
de 25 à 50	8 à 11 » » »
après 50 ans	8 à 12 » » »

Canale établit pour l'adulte une moyenne de 8,71 sur 63 sujets examinés entre 18 et 40 ans; les chiffres moyens de la minima sont corrélativement de 6,3 et ceux de la maxima de 13,4.

Etudiant les variations de la situation de l'oscillation maximale avec l'âge, cet auteur trouve une ascension graduelle entre 4 et 15 ans; les chiffres passent de 7,5 à 8,5 par un maximum de 8,8 pour 10 ans.

Ces recherches confirment celles de Bonaba et Sarachaga, pour qui, au cours de la première, de la seconde et de la troisième enfance les variations numériques n'atteignent pas un centimètre.

Chez le vieillard normal, Canale remarque que le niveau de l'oscillation la plus ample est relativement bas. Il le chiffre cependant à 8,5 en moyenne.

Rapports de l'oscillation maximale avec les tensions extrêmes.

Dodel, dès 1926, cherchant un index de débit circulatoire, situait l'oscillation la plus grande dans le concert des pressions extrêmes à l'aide du rapport suivant:

$$\frac{My - Mn}{Mx - My} = S$$

Il trouve, sur 30 sujets sains examinés entre 20 et 25 ans $S = 0,8$, ce qui place l'oscillation maximale plus près de la minima que de la maxima. Cette dissymétrie s'atténue après 60 ans car on trouve à ce moment S variant de 0,6 à 0,5.

Pour Lian, l'oscillation maximale est pratiquement solidaire de la pression minima et la surpasse ordinairement de 2 cm. de mercure.

Pour Van Dooren, la valeur tensionnelle de la plus grande oscillation est le plus souvent proportionnelle à la minima. C'est selon cet auteur, la méconnaissance de cette relation qui a pu faire croire à une valeur sémiologique de l'oscillation maximale. Lorsque les rapports sont rompus, les études de De Meyer permettent de rattacher l'élévation isolée de l'accident oscillométrique médian à une altération de la souplesse vasculaire.

Cela revient à l'opinion de Barrieu pour qui le fait important n'est pas la situation de l'indice oscillométrique, mais l'intervalle entre celui-ci et *Mn* ou, suivant son expression, la minima-totale, dont les variations sont à comparer avec celles de l'espace symétriqué du côté de la maxima.

*L'oscillation maximale,
constante sphygmanométrique.*

On sait que les pressions extrêmes varient physiologiquement sous de multiples influences. La tension maxima en particulier est remarquablement labile.

Deadborn en a observé les variations au cours du nycthémère.

Klemperer a montré par une expérience devenue classique le rôle des réactions vasomotrices sur elles. Faisant plonger les bras d'un sujet, l'un dans l'eau chaude, l'autre dans l'eau froide, il constate l'abaissement de la maxima à l'humérale du premier et son augmentation à l'artère homologue du second.

L'exercice musculaire, la digestion, les règles sont autant de circonstances au cours desquelles les pres-

sions extrêmes subissent des modifications. Sans multiplier les exemples, nous dirons tout de suite que l'on a songé à opposer dans une certaine mesure le comportement de ces pressions extrêmes à celui de l'oscillation maximale.

Selon les observations de quelques auteurs, l'oscillation maximale constituerait une véritable constante sphigmomanométrique.

Invariable au cours de la journée et au long des jours successifs (Canale), invariable dans l'expérience de Klemperer, stable dans toutes les positions du sujet (Vaquez), elle serait la même en tout point du corps dans la position couchée (Vaquez, Canale).

Au cours de la menstruation, elle ne présenterait que des dénivellations insignifiantes.

La grossesse, l'accouchement ne la modifieraient point.

La digestion resterait sans influence sur elle.

L'effort physique ne changerait pas son niveau, chez l'individu normal, de sorte que sa notation servirait de critère d'entraînement pour les athlètes (de Chaisemartin).

Mais ce n'est point là l'avis unanime.

Dodel, explorant l'oscillation maximale suivant les niveaux hydrostatiques repérés par rapport au cœur, indique une ascension parallèle des différents accidents oscillométriques au fur et à mesure que la pression hydrostatique augmente.

Le même auteur oppose à l'expérience de Klemperer des épreuves de bain chaud à l'occasion desquels on observe l'élévation légère de l'oscillation maximale.

Lian a observé des élévations importantes de l'oscillation maximale chez des sujets sains après l'effort physique. Dodel apporte des exemples de cas semblables. Et A. Govaerts estime que sous l'influence de l'en-

traînement musculaire, en même temps que la différentielle et l'indice oscillométrique s'exagèrent, le niveau de l'oscillation maximale tend à s'abaisser.

*L'oscillation maximale
dans les états pathologiques.*

La littérature à ce sujet est extrêmement abondante et il n'entre pas dans le cadre de ce travail d'en présenter une analyse méthodique. Nous situerons rapidement les faits en réservant toute interprétation.

En pathologie cardio-vasculaire, l'insuffisance aortique a donné lieu à des recherches attentives. Dans cette maladie où la plupart des symptômes sont dus au changement de régime des pressions extrêmes : pouls bondissant, pouls capillaire, danse des artères, double souffle crural, etc..., l'oscillation maximale est à son niveau normal pour la plupart des auteurs (1).

Chez les hypertendus, lorsque cette affection est confirmée, l'oscillation maximale est anormalement élevée et son ascension semble mieux en rapport avec la gravité de la maladie que celle des pressions extrêmes.

Chez certains sujets présentant des signes mineurs de l'hypertension artérielle et qui ont cependant une tension systolique et une tension diastolique à peine augmentées, on peut trouver l'oscillation maximale à 12, 13 et même 14. C'est dans ces cas que l'on parle d'hypertension moyenne solitaire. Certains auteurs considèrent à la suite de Vaquez toute élévation de niveau de l'indice oscillométrique comme un signe d'alarme de l'hypertension artérielle.

Ces idées ne sont d'ailleurs pas universellement admises et les discussions à leur endroit demeurent ouvertes.

(1) P. Meyer et H. Metzger n'acceptent pas cette affirmation.

Au cours de la grossesse et du travail, nous l'avons vu, l'oscillation maximale n'est pas influencée (Lévy-Solal et Kisthinos; Couvelaire). Mais dans l'éclampsie, elle subit une élévation de niveau d'une façon constante (Lepage).

Dans le glaucome, l'accident moyen de l'oscillogramme est anormalement élevé (1), même lorsque la pression minima est inchangée (Bailliart).

Chez les hémiplegiques, la hauteur de l'oscillation maximale paraît élevée, au moins dans les cas récents, d'après Canale.

Au cours des hémorragies, l'oscillation maximale est affectée comme les pressions extrêmes (Dodel).

La saignée chez les cardiaques donne lieu aux mêmes constatations (Canale). Mais dans ce cas, le niveau de l'indice oscillométrique remonte assez rapidement.

Dans la fièvre typhoïde, l'oscillation maximale subit une baisse notable qui se produit principalement à partir du deuxième septennaire et se poursuit jusqu'aux premiers jours de la convalescence. Cette baisse n'est en rapport avec aucune complication cardiaque clinique (Canale).

Dans les néphrites chroniques, l'oscillation maximale est élevée, mais sans rapport de proportionnalité avec les chiffres extrêmes de la tension. L'élévation peut être considérable.

Dans l'hyperthyroïdie, l'oscillation maximale semble augmenter son niveau parallèlement au métabolisme de base; mais toute conclusion à ce sujet appelle la plus grande prudence.

Dans les névroses tachycardiques, Tourniaire n'observe que rarement l'élévation du niveau de l'indice.

(1) Mais, pour De Saint-Martin et Mériel, il n'y aurait pas d'élévation solitaire.

Dans la tuberculose pulmonaire, l'oscillation maximale est à sa place normale dans plus de la moitié des cas, élevée dans quelques-uns et abaissée dans les autres. L'abaissement est surtout accentué dans les cas graves. Dans les cas moyens, l'élévation est le plus souvent concomitante d'une réduction de la maxima. (D'Arbois de Jubainville).

Mais si la pression moyenne résume parfaitement au point de vue statique le cycle des pressions qui se manifestent pendant une période de la révolution cardiaque, elle ne peut suffire à elle seule à renseigner le clinicien.

La maxima et la minima ne doivent rien perdre de leur intérêt. « On s'est demandé, écrit Laubry, quelle était des deux la plus importante à connaître... Pas n'est besoin d'une longue expérience pour conclure comme Gallavardin que les deux tensions sont indispensables... L'abondance des documents ne nuit jamais en clinique... »

Et enfin s'il paraît certain qu'il faille imputer à la pression moyenne une influence primordiale dans la genèse de l'hypertrophie du cœur, de la sclérose et de l'usure des vaisseaux, elle ne semble pas encore apte à nous offrir « aucune de ces formules dont l'allure mathématique devait donner la mesure énergétique cardio-vasculaire. »

« La formule magique qui permettrait de savoir ce que vaut un cœur sain ou malade » reste encore à trouver.

Il ne pouvait entrer dans le cadre de ce travail la mise au point d'une question aussi vaste que celle des applications cliniques de la pression artérielle moyenne.

N'y apportant aucune contribution personnelle, nous nous défendons d'émettre ici aucune opinion de nature

à fausser l'esprit d'une recherche scientifique impartiale.

Nous tenterons seulement à la lumière des faits expérimentaux que nous avons pu observer et des lois hydrauliques que l'on ne saurait ignorer, de montrer ce que l'on peut attendre de la notion de pression artérielle moyenne.

Faut-il, comme Lian, n'y voir que la commodité d'une détermination facile (il s'agit du critère oscillogométrique) (1), la notion de pression moyenne d'ailleurs solidaire de la minima ne bouleversant pas les acquisitions antérieures sur le caractère concordant, convergent ou divergent des formules tensionnelles basées sur la comparaison de Mx et Mn ?

Faut-il, avec Vaquez, lui accorder une signification pronostique importante ou lui dénier toute valeur en ce sens avec Lian ?

Faut-il n'y voir qu'un troisième chiffre tensionnel à joindre à la connaissance des pressions extrêmes pour l'établissement ou au moins la révision des formules d'eusystolie, ou faut-il se ranger à l'avis de Dumas selon lequel la tension moyenne traduit le facteur cardiaque indépendamment du facteur vasculaire périphérique et annoncerait aussi fidèlement le collapsus dans un sens que l'hypertrophie dans l'autre ?

*
* *

En réalité — et Vaquez a insisté le premier sur ce point — la pression artérielle moyenne doit se substituer dans les esprits à la minima comme représentant mieux qu'elle « la charge réelle permanente des artères » pendant toute la durée du cycle pulsatoire. La minima ne répond qu'à un court instant de la diastole,

(1) Cet avis n'est point partagé par tous les auteurs. Berthier et Bezault estiment que la courbe oscillogométrique ne permet de lecture nette de l'oscillation maximale que dans 50 % des cas.

celui qui précède immédiatement la contraction cardiaque.

Plus exactement que la minima, la pression moyenne traduit l'effort moyen du cœur et permet d'en suivre l'adaptation. Cette indication n'est d'ailleurs pas séparable des données relatives aux résistances périphériques actuelles dont elle rend également compte.

A ces divers titres, la pression artérielle moyenne est appelée à servir de critère de base dans toute estimation tensionnelle expérimentale :

— en physiologie lorsque les agressions influencent le moteur cardiaque ou le calibre vasculaire ou encore l'activité d'un organe ou de l'organisme. C'est d'ailleurs la pression moyenne qu'inscrit le manomètre à mercure dès que la fréquence des battements cardiaques est élevée (thèse de Pons);

— en pharmacodynamie lorsqu'il s'agit d'analyser l'action intime d'une préparation et d'en apprécier la toxicité;

— en clinique où la pression moyenne est le plus sûr témoin de l'harmonie ou de la lutte entre les ondes sanguines et les conditions offertes à la périphérie.

Enfin, lorsqu'il s'agit de connaître dans un territoire limité sous quelle charge utile s'effectuent les échanges entre le sang et le milieu interstitiel, d'élucider par exemple le mécanisme d'un œdème, de déceler un obstacle à l'écoulement ou au contraire un court-circuit vasculaire; lorsqu'il est nécessaire d'apprécier en un mot les conditions circulatoires, c'est à l'excès de la pression artérielle moyenne sur la tension veineuse (1) qu'il convient de s'adresser.

Ces notions semblent pouvoir apporter en particulier dans la chirurgie des membres un élément d'information non négligeable.

(1) Voyez chapitre II.

CONCLUSIONS

I. — La pression artérielle moyenne répond à des notions hydrauliques parfaitement justifiées, nettement définies, mais différentes selon qu'on envisage les variations du régime circulatoire en fonction du temps, du débit sanguin ou de l'énergie dépensée dans le réseau d'écoulement.

L'expérience montre que les valeurs de la pression artérielle moyenne correspondant aux divers points de vue se confondent pratiquement sinon théoriquement.

II. — Si cette donnée résume le régime circulatoire, on ne peut néanmoins tirer de sa seule connaissance aucune lumière sur la dépense des vaisseaux ni sur le travail du cœur.

Une évaluation directe du débit associée à une mesure de la pression artérielle moyenne est toutefois capable de rendre approximativement compte de la puissance cardiaque.

III. — Il n'existe qu'un moyen de déterminer la pression artérielle moyenne : c'est la mise en communication de la lumière du vaisseau avec un manomètre amorti, soit après dénudation (procédé vraiment sûr), soit par simple ponction (procédé plus aléatoire).

IV. — L'étude clinique de la pression artérielle moyenne, malgré les travaux déjà réalisés, en est encore à son début.

Il nous paraît légitime de penser que cette donnée doit se substituer à la tension minima dans le rôle d'élément constant de la pression artérielle.

Elle ne saurait cependant dispenser le médecin d'utiliser les indications fournies par les pressions extrêmes.

V. — Parmi les nombreuses applications auxquelles la pression artérielle moyenne semble devoir se prêter, l'analyse précise des conditions circulatoires en des territoires déterminés est à envisager. En association avec la tension veineuse, les tests oscillométriques, la pléthysmographie, elle est susceptible d'apporter (au chirurgien en particulier) des vues importantes sur l'irrigation, la vitalité d'une région et l'état de son système vasculaire.

VI. — Le critère oscillométrique usité classiquement pour mesurer la tension artérielle moyenne n'est fondé sur aucune loi générale et se trouve physiquement erroné dans de nombreux cas.

Pratiquement inopérant dans les courbes en plateau, il ne saurait être considéré comme grossièrement valable que dans des conditions sensiblement normales. Dans les circonstances pathologiques — qui sont les plus intéressantes — et dans toutes celles où la différentielle est assez importante, il s'avère franchement inexact.

VII. — Par contre son étude doit nous amener à considérer de plus près le déterminisme de l'oscillogramme dont nous essayons de préciser les bases.

Le procédé d'investigation oscillographique est appelé, selon nous, à donner des renseignements utiles et

variés sur les propriétés pariétales des artères parmi lesquelles nous avons abordé uniquement l'élasticité (1).

VIII. — Nous n'apportons dans ce travail aucun élément nouveau à l'édifice clinique de la pression artérielle moyenne. Mais nous serions heureux d'avoir seulement contribué à poser sur leur véritable terrain quelques points du problème et tenté de préserver des interprétations et des applications trop hâtives une notion dont l'enthousiasme imprudent des uns et la défiance excessive des autres risque de laisser dévier l'intérêt.

(1) Cf. la très intéressante étude de Laubry et Poumailloux. *Monde Médical*, 15 juillet 1930.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

contenant les principales références parues sur les différents points de la question.

On trouvera un important complément de documentation étrangère dans les articles de Calabresi et Van Dooren, *loc. cit.*

A

- ALEXANDRE (R.) et MOULINIER (R.). — Problèmes d'oscillométrie médicale: courbes oscillométriques et dynamique cardiaque. (*C. R. S. Biologie*, 8 novembre 1921).
- Calculs pour servir à l'établissement des courbes. (*C. R. S. Biologie*, 1920, p. 1484).
- Courbes oscillométriques étudiées en fonction des variations des charges statiques des artères. (*Gaz. hebd. des Sc. méd.*, Bordeaux, 1921).
- Notes sur le critère de la minima. (*C. R. S. Biologie*, 15 avril et 17 juin 1921).
- AMBLARD (L.-A.). — A propos de la mesure clinique de la tension artérielle par la méthode des oscillations. (*Presse Médicale*, 26 mars 1932).
- Considérations sur la mesure de la tension artérielle. (*Tribune Médicale*, 21 décembre 1907).
- AUBERTIN (Ch.). — La notation de la tension artérielle et la courbe oscillométrique. (*Presse Médicale*, 18 février 1920).

B

- BACHER. — Etude dynamique de la pulsation artérielle par les diverses méthodes sphygmomanométriques. (*Soc. méd. des Hôp. de Paris*, mars 1931).

- BAILLIART (M.). — A propos de la pression moyenne en ophtalmologie. (*Soc. Franç. d'Opht.*, 1932, p. 324).
- BAILLIART (M.) et GOMEZ. — La pression moyenne sanguine dans le glaucome. (*Acad. de Médecine*, 24 mars 1931).
- BAMM. — La pression moyenne; sa base scientifique et son application pratique. (*Revue des Sciences ibéro-américaines*, août 1932).
- BARBIER (J.). — La méthode auscultatoire dans l'exploration cardio-vasculaire. *Thèse Lyon*, 1920.
- L'étude clinique de la paroi artérielle. (Epreuve d'agrégation 1926. Legendre à Lyon).
 - L'oscillométrie simultanée des artères des membres. (*La Médecine*, mars 1928).
 - Analyse: *Monde Médical* n° 745.
 - Abordons-nous une nouvelle étape de la sphygmomanométrie ? (*Lyon Médical*: 17 et 24 mars 1931).
 - L'étude dynamique de la pulsation artérielle. — *Questions médicales d'actualité*, janvier 1932 et *S. Méd. Hôp. Paris*, mars 1931).
 - L'onde d'anacrotisme de la pulsation et sa signification dynamique. (*Paris Médical*, 7 mai 1932).
 - Quelle est, en clinique, la vraie tension artérielle ? (*Evian Médical*, janvier 1933).
- BARBIER (J.) et JOSSERAND. — Les hypertendus à tension maxima variable. (*Journal de Médecine*, 1928, p. 39).
- BARD (L.). — Du rôle de la pression dans les milieux intérieurs. Le milieu tensionnel. (*Journal de Physiol. et Path. génér.*, juin 1928).
- BARRÉ et STROHL. — Etude comparée des méthodes générales de sphygmomanométrie. Détermination des pressions maxima et minima au moyen de l'inscription graphique. (*Presse Médicale*, 5 mars 1917).
- BARRIEU. — Le tonoscillographe (présentation d'appareil). (*Société de Médecine de Paris*, 8 avril 1932).
- Que subsiste-t-il de la notion de Pression moyenne ? (*Les Nouvelles thérapeutiques*, 1932).
 - Hypertonie et hypotonie artérielles; leurs rapports avec la tension artérielle. (*L'Hôpital B*, juin 1932).
- BARUCK (H.), LAPEIRE (J.) et ALBANE. — La pression artérielle moyenne, l'indice oscillométrique et l'angiospasme orthostatique dans la démence précoce hébéphrénique. (*C. R.S. Biologie*, 13 juin 1931).
- BASCOURET (M.). — La célérité artérielle en oscillométrie. (*La Médecine*, mars 1933).

- BAUCHET (R.) et LAFRESMIRRE. — La pression moyenne. (*Union Méd. du Canada*, février 1932; *Canada M.A.J.*, novembre 1932).
- BEERENS (J.), LEQUIME, SAMAIN et Van BOGAERT. — Tension moyenne vraie et fréquence du cœur. (*C.R.S. Biologie*, CXIII, 520-22, 21 octobre 1933).
- BERNARD. — Hypertension et régulation du débit artériel.
- BERTHIER (J.) et BEZAULT. — Tension moyenne et nitrite d'amy-le. (*Comité Médical des B.-d.-R.*, 5 février 1932).
- Remarques sur la tension artérielle moyenne. (*Soc. de Méd. Marseille*, 12 et 16 mars 1932).
- BEZAULT. — Recherches sur la tension artérielle efficace. *Thèse Marseille* 1931-32.
- BOCK (V.), BAUER (P.-S.) et MEANS (J.-H.). — Preliminary note on the elastic hysteresis of the human aorta. (*Proceed. Acad. Sc. U.S.A.*, août 1928).
- BOGDANOVICS. — Tension artérielle dans la menstruation et l'accouchement, 1909. (Cité par Gallavardin).
- BONABA (J.) et SARACHAGA (D.-F.). — La pression moyenne chez l'enfant normal et dans quelques états pathologiques. (*Arch. Méd. des Enfants* n° 1, janv. 32).
- BOUASSE (H.). — Jets, tubes et canaux. (Bibliothèque scientifique de l'ingénieur et du physicien. Delagrave, Paris 1923).
- BOUCOMONT (de Royat). — Les premières mesures directes de la pression moyenne chez l'homme. (*La Vie Médicale*, 25 décembre 1932).
- BOULET (P.), BALMES (A.) et GINESTIÉ (J.). — Courbe sphygmomanométrique et pression moyenne. Comparaison des résultats de la méthode graphique à ceux de la mesure oscillométrique. (*Arch. Société Sciences Méd. et Biologiques Montpellier*, 31 février 1932).
- BOULET (P.), BALMES (A.), GINESTIÉ (J.) et QUET. — Schéma d'équivalence sphygmomanométrique. Sa déformation dans l'insuffisance cardiaque. (*S.S.M.B. Montpellier*, janvier 1932).
- Relations numériques entre les pressions maxima, minima et moyenne. Proposition de formule d'eusystolie et d'insuffisance cardiaque. (*S.S.M.B. Montpellier*, janvier 1932).
- BOULET. — Application du schéma d'équivalence sphygmomanométrique aux anisotensions. (*S.S.M.B. Montpellier*, janvier 1932).
- BOURG (P.). — Que pouvons-nous attendre de la recherche de la pression moyenne ? (*Notes pratiques d'actualité médicale*, 1933).

- BOUTHILLIER (P.). — Le débit cardiaque. (*La Médecine*, août 1931).
- BROCA (A.). — *Précis de Physique Médicale*. J.-B. Baillière, Paris. (Coll. Gilbert et Fournier).
- BROSSE (Th.) et A. Van BOGAERT. — Du rôle de l'état fonctionnel de la paroi vasculaire et principalement de son relâchement dans quelques signes vasculaires périphériques. (*Gazette Hôp.*, 15 oct. 1932).
- BUGNARD (L.), GLEY (P.) et LANGEVIN (A.). — Inscription et mesure de la pression sanguine. (*Ac. des Sciences*, 23 janvier 1933).

C

- CALABRESI. — La pression moyenne: bibliographie critique. *Cœur et circulation*, mars 1933.
- CANALE. — Etude de la tension moyenne à l'état normal et dans quelques cas pathologiques. (*Thèse Paris* 1932).
- CASTEX et DIXIO. — Tension moyenne. (*La Prensa Médica Argentina*, 30 juillet 1932).
- CAWADIAS (A.-P.). — Sur une modification de l'oscillomètre de Pachon. (*Paris Médical*, 26 janvier 1929).
- CESARE (A.-M.). — La tension moyenne cardio-vasculaire dans la tuberculose pulmonaire. *Morgagni*, 24 janvier 1932.
- CHAZAL (P.-E.) et DEGUY (M.). — Les chiffres normaux de la tension artérielle. (*Presse Médicale*, 16 avril 1933).
- CORDIER (V.), VEIL (P.) et COLLOMB. — Quels sont les renseignements que peut fournir la tension vraie ou ancienne tension moyenne (*S. Médicale Hôp. Lyon*, 19 mai 1931).
- Le cri de la tension moyenne. (*Lyon Médical*, 11 octobre 1931, *Archives Maladies du Cœur*, sept. 1931).

D

- D'ARBOIS DE JUBAINVILLE. — Pression moyenne dans la tuberculose pulmonaire chronique. Etude clinique des courbes sphygmomanométriques fournies par un oscillomètre enregistreur. (*Thèse Nancy* 1933).
- DEADBORN. — Notes pratiques sur la tension artérielle. (*Médical Record*, 16 septembre 1916).
- DERIDOUR et DUBOIS. — Etude oscillographique de la pression artérielle sous l'influence combinée de procédés calorifiques et de l'Hydrothérapie. (*Société d'hydrologie et de climatologie médicales de Paris*, 6 février 1933).

- DEBIDOUR et DUBOIS. — Action de l'hydrothérapie sur les réflexes neuro-végétatifs et la pression artérielle (étude oscillographique). (*Société de Médecine de Paris*, 10 mars 1933).
- DEHON (M.), DUBUS et HEITZ (J.). — Mesure directe de la pression intra-artérielle chez l'homme vivant. (*C.R.S. Biologie* 1912, LXXII, p. 789).
- DELALBRE (L.-G.). — Etudes expérimentales sur le sphygmoscope et la mécanique du pouls artériel. (Labo. Pachon). (*Thèse Bordeaux* 1902).
- DELAUNAY. — La courbe oscillométrique; étude analytique. (*Gazette hebdomadaire des sciences médicales de Bordeaux*, 28 octobre 1917).
- DESCHAMPS (P.-N.). — Le contrôle de la cure thermale de Royat par l'inscription graphique de la pression artérielle. (*La presse thermale et climatique*, 1^{er} décembre 1932).
- DODEL (P.). — Sur le rapport de la p.e. artérielle aux pressions maxima et minima du sang dans les artères. (*C.R.S. Biol.* XCV 1926).
- Valeurs du rapport de la p.e. aux pressions maxima et minima du sang dans les artères. (*C.R.S. Biol.* XCIV 1926).
 - Sur le rapport de la pression efficace artérielle aux pressions maxima et minima du sang dans les artères. Importance de la notion d'efficacité en sphygmomanométrie. (*Gazette hebdomadaire des sciences médicales de Bordeaux*, 20 février 1926).
 - Réalisation expérimentale de l'hypertension systolique artérielle d'origine aortique. (*C.R.S.B.* XCV 1926).
 - Recherches cliniques et expérimentales sur la pression moyenne dynamique du sang dans les artères. (*Revue médicale de l'Office Central de Médecine de l'Union Nationale des Etudiants*, Clermont-Ferrand, juillet 1933).
- DODEL (P.) et ROMEUF (J.-B.). — Etude expérimentale des modifications de la force vive de l'onde pulsatile artérielle en rapport avec l'élasticité de l'aorte. (*C.R. Ac. de Médecine*, mai 1930).
- DOUMER (E.). — Signification de la convergence des chiffres de tension. (*Presse Médicale*, 3 février 1932).
- DUBREUIL (G.). — Signification et valeur de la média et des tissus élastiques et musculaires des parois artérielles. (*Arch. anat. microscop.*, 450-58, 1929).
- DUFOUR (H.). — Pesée du sang et tension artérielle. (*Journal de Médecine de Paris*, 14 juillet 1932).
- Poids du sang et tension artérielle. (*Journal de Médecine de Paris*, 9 mars 1933).

- DUMAS (A.) (de Lyon). — Les dénivellations tensionnelles équilibrées. (*Lyon Médical*, 28 juin 1931).
- Les avantages de la pression moyenne; la tension moyenne et les états de collapsus. (*Revue Médicale Française*, août 1932).
 - Insuffisance tensionnelle et tension moyenne basse. (*Presse Médicale*, 3 septembre 1932).
 - Valeur des variations tensionnelles pour l'estimation des lésions du myocarde. (*Congrès internat. de Prague*, juin 1933, et *Journal de Médecine de Lyon*, 20.9.33).
- DUOMARCO et OLIVER (de Montevideo). — Mesure directe de la pression artérielle moyenne chez l'homme. Rapport avec la détermination oscillométrique. (*C.R.S. Biologie*, 16 juin 1932).

E

- ERLANGER (J.). — Le mécanisme des oscillations (Etudes sur la mensuration de la pression sanguine par les méthodes indirectes). (*The American Journal of Physiology*, février 1916).
- Mouvements artériels effectués dans le brassard de compression durant la mensuration de la pression artérielle. (*Proceed. of the American Physiol. Soc.*, décembre 1916).

F

- FABRE (Ph.) (de Lille). — Le jeu des bruits sanguins en sphygmomanométrie. (*C.R.S. Biologie et Biologie Médicale*, 1924).
- La mécanique des phénomènes sphygmomanométriques. (*Doin*, 1925).
 - Coups de bélier de fermeture et tons artériels mats. (*C.R.S. Biologie*, 18 décembre 1926).
 - Hémodynamie et sphygmomanométrie. (*Biologie médicale*, juin 1927).
 - Traité de physiologie normale et Pathologique (Roger et Binet), T. VI, p. 483 sq. Article « Pression sanguine dans les artères de l'homme », Masson, 1932.

FABRE (R.) (de Bordeaux). — De la valeur comparée des méthodes palpatoire, auscultatoire et de l'oscillométrie pour la détermination de la tension artérielle maximum chez l'homme. (Etude expérimentale et critique). (*Thèse Bordeaux*, 1921).

— La mesure de l'élasticité artérielle chez l'homme. (*C.R. S. Biol.*, T. LXXXVI, 1922, p. 155).

— Sur la mesure de l'élasticité artérielle chez l'homme. Etude expérimentale et clinique. (*Archives Internat. Physio.*, 15 août 1922).

— L'élasticité artérielle en sphygmomanométrie. (Travail d'agrégation, 1926).

FONTAN. — Applications cliniques de la tension moyenne. (*Thèse Bordeaux*, 1926).

— Le rapport $\frac{i}{I}$ et la forme de la courbe oscillométrique dans quelques cas pathologiques cardio-vasculaires.

— Pression artérielle efficace et insuffisance aortique. (*Presse Médicale*, 8 juillet 1931).

— Existence du syndrome d'hypertension moyenne solitaire. (*J.M. de Bordeaux*, 28.2.1932).

FRANÇOIS-FRANCK. — Sur la signification manométrique des divers sphygmomanomètres. (*Livre Jubilaire du Pr. Teissier*, 1910).

FRITZ (A.). — Sur un principe nouveau d'enregistrement de tracés pléthysmo-oscillographiques. (1^{er} mémoire).

— Etude théorique et expérimentale de courbes pléthysmo-oscillographiques obtenues dans des tubes élastiques (2^e mémoire). (*Archives internationales de Médecine expérimentale de Liège*, vol. VI, fascicule 3, 10 juin 1931).

— Quelle est la signification exacte de l'écrasement diastolique de l'artère rétinienne ? (*B. et M. de la Société Fr. d'Ophthalmologie*, 21.7.1932, p. 321).

FROSSARD (H.-J.). — A propos de la pression moyenne. (*Presse Médicale*, 26.3.1932).

— Une nouvelle orientation de la sphygmomanométrie. (*Les Sciences Médicales*).

— La pression ventriculaire, facteur initial de la tension artérielle. Note présentée par d'Arsonval. (*Ac. des Sciences*, 21 novembre 1932).

FUHRMANN (S.). — Contribution à l'étude de la pression artérielle moyenne en particulier chez les brightiques œdémateux et les éclampsiques. (*Thèse Paris*, 1932).

G

- GALLAVARDIN. — La tension artérielle en clinique, 1920 (Mason).
- GALLOIS (J.-P.). — Angiophtalmologie. (*Société Médecine Paris*, 11 mars 1932).
- GAUCHER, LEQUIME et Van BOGAERT. — Variations tensionnelles intra-artérielles chez l'homme au cours de l'inhalation de nitrite d'amyle. (*C.R.S. Biologie*, 25 nov. 1933).
- GAY (P.). — Les hypertendus à tension maxima variable. Contribution à l'étude de la forme de la pulsation chez les hypertendus. (*Thèse Lyon*, 1931).
- GIBSON (G.-A.). — Un sphygmomanomètre clinique donnant la valeur absolue de la pression artérielle. (*Quarterly Journal*, oct. 1907).
- GIROUX (René) et BOULITTE (G.). — Etude du système circulatoire et du fonctionnement cardiaque au moyen de l'enregistrement de la pression artérielle. Nouvelle méthode d'exploration. (*Presse Médicale*, 14 octobre 1933).
- GLEYS (E.). — Traité élémentaire de Physiologie. (J.B. Baillière, 1923).
- GLEYS (P.) et GOMEZ (D.-M.). — La pression moyenne, sa mesure, son intérêt en clinique. (*Paris Médical*, 4 juillet 1931).
- La détermination de la pression moyenne par la méthode oscillométrique. (*Journal de Physiologie et de Path. Génér.*, 1931, n° 1).
- Détermination des pressions moyenne et maxima par la méthode oscillométrique. (*Presse Médicale*, 25 février 1931).
- Détermination des pressions moyenne et minima par la méthode oscillométrique. (*Presse Médicale*, 17 février 1931).
- La mesure de la pression artérielle minima par la méthode oscillométrique. (*Journal de Physiologie et de Patholog. générale*, 1931).
- GOMEZ (D.-M.). — Le problème de la Minima. (*Presse Médicale*, 2 décembre 1931).
- GOMEZ (D.-M.) et BAILLIART. — Pression moyenne et glaucome. (*Bulletin Ac. Méd.*, 24 mars 1931).

- GOMEZ (D.-M.) et LAJOIE (R.). — Modifications de la pression artérielle, principalement de la pression moyenne à la suite de l'effort chez les sujets normaux et chez les hypertendus. (*Presse Médicale*, 22 avril 1931).
- GOMEZ (D.-M.) et KISTHINIOS. — La pression moyenne dans différentes formes d'insuffisance cardiaque. (*Bulletin médical*, 22 août 1931).
- GOVAERTS (A.). — La réaction vasculaire à l'entraînement musculaire. (*Bruxelles médical*, 19 février 1933).
- GRISON. — Sur la valeur sémiologique de l'indice oscillométrique. (*Thèse Bordeaux*, 1920-21).

H

- HARVIER et NOEL-DESCHAMPS. — La tension artérielle moyenne (état de la question en 1931). (*Paris Médical*, 7 mai 1932).
- HÉDON (E.). — Précis de Physiologie. (Doin, 1930).
- HÉDON (L.). — Nouvelle technique permettant d'obtenir avec le kymographion des tracés de pression sanguine de très longue durée sans coagulation. (*C.R.S. Biologie*, 1930, p. 861 du T. CIII).
- Cause d'erreur dans la détermination de la pression moyenne artérielle par la méthode classique. (*C.R.S. Biologie*, 16 avril 1931).
- HENDERSON et HAGGARD. — The validity of the éthyliodide method for measuring the circulation. (*Amer. J. Physiol.*, LXXXII 497-503, 1927).
- HENDERSON et BROCKLEHURST. — Comparative measurement of the circulation in man with carbonedioxide and with ethyl iodide. (*A.J.P.*, 504-511, 1927).
- HENNEQUIN (L.). — Contribution à l'étude physiologique et clinique de la pression moyenne. (*Thèse Nancy*, 1931).
- Sur la mesure de la pression artérielle moyenne. (*C.R.S. Biologie*, 1931, Vol. 107, p. 1153).
- HERMANN (H.). — Le Cœur, in *Traité de Physiologie normale et pathologique*. (Masson, 1932).
- MENESES HOYOS (G.) (Mexique). — La pression sanguine moyenne et la mise à la retraite dans l'armée. (*The Medical Surgeon Chicago*, mai 1933).
- HÜRTHLE (K.). — Zur Technik der Untersuchung des Blutdrucks (*Pflügers Archiv. für die gesamte Physiologie*, 1888, B. 43. S. 399-428).

HÜRTHE (K.). — Über eine Method zur Registrirung des arteriellen Blusdrucks beim Menschen. (*Deutsche medizinische Wochenschrift*, 1896).

K

KISTHINIOS. — La pression moyenne dynamique et ses variations normales et pathologiques. (*La Médecine*, septembre 1931).

— La pression moyenne en clinique. (*La Médecine*, oct. 1932).

L

LAUBRY (Ch.), BEERENS (J.) et Van BOGAERT (A.). — Relations entre la tension moyenne intra-artérielle et la forme du pouls chez l'homme. (*C.R.S. Biologie*, 20 mai 1933).

— Tension moyenne intra-artérielle normale chez l'homme. (*C.R.S. Biologie*, 20 mai 1933).

LAUBRY (Ch.), BLOCH (S.) et MEYER (J.). — Circulation du membre supérieur par l'oscillographie, la plethysmographie et la capillaroscopie. (*C.R.S. Biologie*, 15 octobre 1921).

LAUBRY, BROSE et Van BOGAERT. — Valeur sémiologique de l'artériogramme. (*Paris Médical*, 7 mai 1932).

LAUBRY (C.) et MEYER (J.). — Capillaroscopie en aval d'une contre-pression pneumatique. (*C.R.S. Biologie*, 25 juin 1921).

LAUBRY (Ch.) et POUMAILLOUX (M.). — L'oscillométrie en clinique. (*Monde Médical*, 15 juillet 1930).

LAUBRY (C.) et ROUTIER. — La tension artérielle et ses troubles. (*Nouveau traité de Médecine et de Pathologie interne*, 1930, p. 824).

LAUBRY (C.) et LIDY (P.). — Les variations du rythme cardiaque et de la tension artérielle dans l'orthostatisme, l'effort et la fatigue. (*Archives des Maladies du Cœur, des Vaisseaux et du Sang*, 1917, p. 49).

LAUBRY (C.) et YERNAUX. — Note sur le pouls paradoxal. (*Archives internationales de Médecine expérimentale de Liège*, Vol. VII, fasc. 2, avril 1932).

LÉGER. — Contribution à l'étude du critère oscillométrique considéré comme critère d'entraînement. (*Th. Bordeaux*, 1914).

- LEQUIME. — La tension moyenne vraie dans les états pathologiques cardio-vasculaires. (*Le Scalpel*, LXXXVII, p. 1213-19).
- LEQUIME et Van BOGAERT. — Viscosité du sang artériel et ses rapports avec le taux de la tension moyenne intra-artérielle. (*C.R.S. Biol.*, CXIII, 582-84, 28 octobre 1933).
- LEQUIME, SAMAIN et Van BOGAERT. — Relation entre la T. M. intra-artérielle et la tension veineuse. (*C.R.S.B.*, CXIII, p. 585-88, 28 oct. 1933).
- LÉVY-SOLAL, KISTHINIOS et LEPAGE. — La pression moyenne au cours de la gestation et de la puerpéralité. (*Société d'obstétrique et de gynécologie de Paris*, 13 avril 1931).
- Pression moyenne et éclampsie. (*Académie de Médecine*, 28 avril 1931).
- LIAN (C.). — Tension maxima et tension moyenne. Leurs valeurs concordantes, convergentes ou divergentes. (*C.R.S. Biologie*, 1931, p. 500).
- Variations de la tension artérielle moyenne dans les efforts et les émotions. (*C.R.S. Biologie*, 1931, 4 juillet).
- La pression artérielle moyenne et son importance sémiologique. (*Presse Médicale*, 23 janvier 1932).
- Tension artérielle moyenne dans ses rapports avec les tension maxima et minima. (*C.R.S. Biologie*, 1931, p. 498).
- LIAN (C.), BLONDEL, DUMAS (A.) et GIRAUD (G.). — L'hypotension artérielle. (*Rapport au Congrès de Médecine de Montpellier*, 1929).
- LIAN (C.) et FACQUET. — Pression artérielle moyenne. (*Journal de Méd. et Chir. pratique*, 10 mai 1932).
- LIAN (C.), LAMBIN (P.) et PAUTRAT (J.). — Etude expérimentale des variations des pressions artérielles maxima, moyenne et minima en fonction du débit cardiaque. (*C.R.S. Biologie*, 9 juillet 1932, p. 926).
- LIAN (C.), MILOS SKARIKA, THOYER. — La pression artérielle et l'indice oscillométrique dans les syndromes basedowiens.
- LIAN (C.) et ZAMFIR (C.). — Du caractère à peu près solidaire des pressions artérielles moyenne et minima. Etude oscillométrique et oscillographique. (*Presse Médicale*, 1^{er} février 1933).
- LOEPER. — La tension artérielle pendant la digestion. (*Archives des maladies du Cœur, des Vaisseaux et du Sang*, 1912, p. 117).
- LUISADA (Aldo). — La courbe de pression artérielle dans un territoire vasculaire et ses variations dans les états hypotenseurs. (*Presse Médicale*, 6 août 1924).

- LUISADA (Aldo). — Modifications régionales de la tension artérielle. (*Arch. Mal. du Cœur*, 1926, p. 88).
- Les encoches artérielles de la courbe du pouls. (*Archives des Maladies du Cœur et des Vaisseaux*, février 1928).
- LUISADA (A.) et TREMONTI (P.). — Contributo alla terapia dei collasi. Il tono e la contrattilità arteriosa studiati su preparati di rana. (*Sper.*, août 1928).

M

- MACWILLIAM et MELVIN. — L'estimation de la pression diastolique du sang chez l'homme. (*Heart*, 1914, V. p. 153).
- MARTIN (J.). — Essai sur l'oscillométrie dans l'hypertension artérielle. (*Thèse Paris*, 1932).
- MAREY. — Travaux de Laboratoire (1876).
- Physiologie médicale de la circulation du sang (1863).
- La méthode graphique dans les sciences expérimentales (1885).
- Recherches hydrauliques sur la circulation du sang. (*Annales des sciences naturelles, Zoologie 4^e série, T. VIII*).
- MARTINET. — Epreuve fonctionnelle circulatoire. Appréciation de la puissance de réserve du cœur. (*Presse Médicale*, 20 janvier 1916).
- MAURIAC (P.). — Du danger des explications simplistes en Biologie et en Médecine. (*Presse Médicale* n° 48, 1932, et *Revue de Méd. et Chir. de l'Afrique du Nord*, 10 décembre 1932).
- MAY (E.). — Le rapport oscillométrique et son utilisation clinique. (*Presse Médicale*, 1920).
- MÉNARD. — Présentation d'appareil. (*C.R. Académie des sciences*, 6 décembre 1920, et *Presse Médicale*, 10 février 1932).
- La mesure de la pression moyenne. (*Société de Médecine*, 25 juin 1932).
- MERKLEN (L.). — Le rythme du cœur au cours de l'activité musculaire et notamment des exercices sportifs. Recherches critiques et expérimentales sur le mécanisme et les modalités de ses variations. (*Thèse Nancy*, 1926).
- MEYER (P.) et METZGER (H.). — A propos de la tension moyenne. (*Société de Méd. du Bas-Rhin*, 27 février 1932).
- MEYER (DE). — Observations physio-pathologiques sur la circulation périphérique. (*Bruxelles-Médical*, 4 janvier 1931).

- MEYER (DE), RUYTER (DE) et YERNAUX. — Etude sur l'oscillométrie artérielle. (*Archives des Maladies du Cœur*, août 1933).
- MILOVANOVITCH. — L'indice oscillométrique: critère de mesure correcte. (*Presse Médicale*, 24 août 1932).
- MONASTERIO. — Signification de la pression moyenne. (*Reforma Medica*, 20 avril 1931).
- MORAT et DOYON. — *Traité de Physiologie* (1899).
- MOUGEOT et AUBERTOT. — Macrosphygmie et microsphygmie chez les hypertendus. (*La Médecine*, mars 1929).
- MOUGEOT et PETIT. — De l'exactitude des mensurations sphygmomanométriques. (*Société Médicale des Hôpitaux de Paris*, 17 décembre 1920).
- MÜLLER (O.) und K. BLAUER. — Zur Kritik des Riva-Rocci'schen und Gärtner'schen sphygmomanometers. (*Deutsche Archiv. für klinische Medizin*, 1907, XCI 517).
- MÜLLER (O.) und VLEIHEL. — Die Tachographie. (*Volkman's Sammlung Klinische Vorträge*, 1910).

N

- NAGERA. — Tension moyenne. (*La Semana Medica, Buenos-Aires*, 11 août 1932).

O

- OCARANZA (Fernando). — El valor clinico de la curva oscillográfica. (*Gaceta Med. Mexico*, juin 1928).
- D'ELNITZ et CORNIL. — Etude oscillométrique des réactions vasomotrices d'un segment de membre après compression à la bande d'Esmarch. (*C.R.S. Biologie*, 1918, p. 1131).

P

- PACHON (V.). — Sur la méthode des oscillations et les conditions correctes de son emploi en sphygmomanométrie clinique. (*C.R.S. Biologie*, 8 mai 1909).
- La mesure de la pression artérielle par la méthode des oscillations. L'oscillométrie pratique. (*Paris Médical*, 1^{er} juillet 1911).

- PACHON (V.). — Une orientation nouvelle de la sphygmomanométrie: la pression minima étalon sphygmomanométrique. (*Livre Jubilaire du Pr. Richet*, juillet 1912, et *Presse Médicale*, 22 mars 1913).
- L'oscillométrie, sa spécificité et son champ d'information. (*Journal Médical Français*, septembre 1919).
 - Sur la détermination oscillométrique de la pression moyenne dynamique du sang dans les artères ou pression efficace artérielle. (*C.R.S. Biol.*, 14 mai 1921, T. I, p. 868, et *Journal Médecine Bordeaux*, 30 mai 1921).
- PACHON (V.) et FABRE (R.). — Sur le déterminisme physique de l'oscillation maximale en sphygmomanométrie. (*C.R.S. Biologie*, 14 mai 1924, p. 210, et *J.M. Bordeaux*, 30 mai 1921).
- Sur le critère de la pression minima dans la méthode oscillométrique. (*C.R.S. Biologie*, 10 mai 1921).
 - La notion d'un simple point anguleux est-elle suffisante comme critère oscillométrique de la pression minima? (*C.R.S. Biologie*, 6 décembre 1921).
 - Expériences relatives aux bases exactes du raisonnement dans le déterminisme théorique de l'oscillation maximale en sphygmomanométrie. (*C.R.S. Biologie*, 1923, p. 951).
- PACHON (V.), FABRE (R.), DELMAS et MARSALET. — Sur le contrôle capillaroscopique de l'exactitude de la détermination oscillométrique de la tension artérielle maxima. (*C.R.S. Biologie*, 7 juin 1921).
- PAILLARD (H.). — L'exploration artérielle segmentaire à l'oscillomètre de Pachon. (*Journal Médical Fr.*, février 1933).
- PELLER. — Mesure de la pression sanguine par un manomètre différentiel. (*Wiener Medizinische Wochenschrift*, 1^{er} janvier 1933).
- PEZZI (C.). — Si l'on exerce sur une artère une contre-pression égale à la pression diastolique, la pression systolique augmente. (*C.R.S. Biologie*, 15 février 1913, LXXIV, p. 321).
- Le phénomène de Ehret et les dimensions du brassard dans la mesure de la pression artérielle chez l'homme. (*C.R.S. Biologie*, 1^{er} mars 1913, LXXIV, p. 456).
 - La pression moyenne et l'hypertension artérielle dans les maladies infectieuses. (*Cœur et Circulation*, mai 1932).
- PIOLLET (P.), DODEL (P.), BOUCOMONT (R.). — Détermination directe sur l'homme des critères des pressions artérielles maxima et moyenne. (*Bullet. Acad. Méd.*, 19 juillet 1932).

PLESCH (J.). — M.D. Berlin. — La mesure de la pression sanguine par la méthode tonoscillographique et la signification de la courbe des pressions. (*Abderhaldens Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden*, 1931, p. 773-844).

— Atonie artérielle et artério-sclérose. (*The Lancet*, 20 février 1932).

POISEUILLE. — Recherche sur l'action des artères dans la circulation artérielle. (*Journal de Physiol. de Magendie*, 1829).

PONS (R.). — Contribution à l'étude de la sphygmomanométrie directe. Documents expérimentaux sur le fonctionnement dynamique du manomètre à mercure. (*Thèse Bordeaux*, 1912, Laboratoire du Pr. Pachon).

— Note sur l'erreur de principe de la méthode sphygmomanométrique de Riva-Rocci. (*Journal des Praticiens*, 24 novembre 1917).

POTAIN. — La pression artérielle chez l'homme, à l'état normal et pathologique. (*Paris*, 1902, Masson).

R

RECKLINGHAUSEN (Von H.). — Praktische Anleitung zu einer Messung des arteriellen Blutdrucks beim Menschen. (*Wien* 1911).

RAYBAUD (A.). — Valeur diagnostique et pronostique de la pression moyenne. (*Marseille Médical*, 25 mai 1932).

RAYBAUD (A.) et GIRAUD-COSTA. — Valeur diagnostique et pronostique de la tension moyenne dans les hypertensions artérielles et les insuffisances cardiaques. (*Soc. de Méd. Marseille*, 12-16 mars 1932).

RENAUD (M.). — Débit cardiaque et pression moyenne. (*Revue critique de Path. et Thérap.*, février 1932).

RICHTET (Ch.). — Physiologie des muscles et des nerfs. (1882).

ROMEUF (J.-B.). — Des rapports de l'indice oscillométrique et de l'aorte. (*Monde Médical*, 1^{er} juillet 1931).

— Etude des réactions élastiques de l'aorte aux chocs du cœur d'après la courbe oscillométrique. (*Thèse Paris*, 1922).

DE RUYTER (F.). — Observations relatives à l'influence des parois artérielles sur l'allure des courbes oscillométriques. (*Archives internationales de Médecine expérimentale de Liège*, 5-277, 1928).

S

- DE SAINT-MARTIN et MÉRIEL. — Glaucome et tension moyenne (*Archives Soc. Fr. d'Opht.*, novembre 1932).
- SÉDILLOT (J.). — Hypertension moyenne solitaire, affaire vasculaire. (*Soc. Médecine Paris*, 27 février 1932).
- Hypertension moyenne solitaire, syndrome de perte d'élasticité artérielle. (*Monde Médical*, 15 septembre 1932).
- SETSCHENOW (J.). — Eine neue Methode die mittlere Grösse des Blutdrucks in den Arterien zu bestimmen. (*Zeitschrift für rationnelle Medizin*, 1861, B. XII, S. 334; *Henle und Pfeiffer's Zeitschrift B. XII*, S. 33).
- SOULA (Camille) (de Toulouse). — Pression et vitesse du sang. (*Le Siècle Médical*, 15 janvier 1933).
- STARLING (Ernest H.). — Principles of Human Physiology. London 1915, Chap. XIII. (*The physiology of the circulation*, p. 887 à 889).
- STRASBURGER (J.). — Ein Verfahren zur Messung des diastolischen Blutdrucks und seine Bedeutung für die Klinik. (*Zeitschrift für Klinische Medizin*, 1904 B. LIV, S. 373).
- STRASBURGER (J.) und SCHMIDT. — Mesure de la pression sanguine après un travail corporel. Son utilité pour apprécier la fatigabilité. (*München medizinische Wochenschrift*, 1913, n° 4).

T

- TANGL et ZUNTZ. — Über die Einwirkung der Muskelarbeit auf den Blutdruck. (*Pflüger Archiv*, 1898 Bd LXXIV, S. 544).
- TETELBAUM (A.-G.), KRINSKY (M.-I.) et ROMANOWA (O.-F.). — Pression veineuse au niveau d'un membre comprimé comme indicateur de la pression artérielle moyenne. (*Presse Médicale*, 30 déc. 1933).
- TIGERSTEDT. — *Physiologie des Kreislaufes*, 1921 (Band I).
- TOURNAIRE et NOUGUIER. — Tension artérielle dans les névroses tachycardiques. (*La Pratique médicale française*, janvier 1933 (A) et *Le Monde Médical*, 15 juillet 1933).
- TSUJI. — Pression artérielle dans la menstruation. (*Archiv. für Gynécologie*, Bd LXXXIX, 3).

V

- VAN BOGAERT (A.), BEERENS (J.), L. SAMAIN. — Rapports entre le taux de la tension moyenne intra-artérielle, la tension systolique et la tension diastolique. (*C.R.S. Biologie*, 27 mai 1933).
- VAN BOGAERT (A.) et BEERENS (J.). — Nouvel appareil de mesure de la tension moyenne par voie intra-artérielle chez l'homme: l'hémodynamomètre. (*Presse Médicale*, 3 mai 1933).
- Mesure directe de la tension moyenne par ponction artérielle. (*C.R.S. Biol.*, 1933, p. 1181-87).
 - Nouvel appareil de mesure de la P. M. par ponction intra-artérielle. (*C.R.S. Biol.*, 1933, p. 1266-67).
 - Etude expérimentale de la tension moyenne intra-artérielle dans l'A. fémorale et dans l'humérale. (*C.R.S. Biologie*, 1933).
- VAN DOOREN (Fr.). — La tension moyenne. (*Bruxelles Médical*, 2 avril 1933, p. 616).
- Rapports entre la pression moyenne et la circulation périphérique. (*Presse Médicale*, 5 août 1933, p. 1236-1238).
 - Etude de la Pression moyenne. (*Le Scalpel*, 6 janvier 1934).
 - Etude critique et expérimentale de la pression moyenne. (*Le Scalpel*, 21 avril 1934).
- VAQUEZ (H.). — Hypertension artérielle. (*Rapport au Congrès de Médecine de Paris*, 1904).
- Epreuves fonctionnelles du cœur. (*Rapport au Congrès de Londres*, 1913).
 - Pression artérielle moyenne. Son application dans la pratique clinique. (*Siècle Médical*, 16 avril 1931).
- VAQUEZ (H.) et DE CHAISE-MARTIN. — Education physique et pression moyenne. (*Presse Médicale*, 26 mars 1932).
- Etude sur la pression moyenne. (*Archives de Médecine et Pharmacie militaires*, février 1933).
- VAQUEZ (A.), GLEY (P.) et GOMEZ (D.-M.). — Etude théorique et pratique de la mesure de la pression moyenne par la méthode oscillométrique. (*Presse Médicale*, 5 septembre 1931).
- Le Kymomètre. (*Bulletin Société Médicale des Hôp. Paris*, 23 novembre 1931 et *Presse Médicale*, 5 décembre 1931).

- VAQUEZ (A.), GLEY (P.) et GOMEZ (D.-M.). — Une nouvelle étape de la sphymomanométrie: la détermination des pressions minima et moyenne par la méthode oscillométrique. (*Presse Médicale*, 25 février 1931).
- VAQUEZ (H.) et GOMEZ (D.-M.). — Pression moyenne et hypertension artérielle. (*Bulletin Académie Médecine*, 17 février 1931).
- Un syndrome hypertensif nouveau. L'hypertension moyenne solitaire. (*Presse Médicale*, 5 décembre 1931).
- VAQUEZ (H.), GOMEZ (D.-M.), LAJOIE (R.). — L'hypertension moyenne à l'effort et l'aptitude fonctionnelle cardiaque. (*Presse Médicale*, 21 octobre 1931).
- VAQUEZ (H.) et KISTHINIOS. — La pression moyenne dynamique considérée comme pression basale. (*Académie de Médecine*, 24 mars 1931).
- VAQUEZ (H.), KISTHINIOS (N.), PAPAIOANNOU (M.). — Pression moyenne, constante sphymomanométrique. (*Presse Médicale*, 22 avril 1931).
- VAQUEZ (H.), MOUQUIN et GLEY. — La forme « en plateau » des courbes oscillométriques. (*Presse Médicale*, 5 mai 1934).
- VILLARET et BOUDET. — Emploi combiné de l'oscillométrie avec les méthodes auscultatoire et palpatoire pour l'étude de la tension sanguine. (*C.R.S. Biologie*, 11 janvier 1919).
- VILLARET, JUSTIN-BEZANÇON et CACHERA. — Dissociations tensionnelles régionales. (*Revue Médicale Fr.*, avril 1932).
- VOLKMANN (A.-W.). — *Die Hämodynamik*, Leipzig 1850. (Breitkopf und Härtel).

W

- DE WAELE (H.). — La circulation artérielle et veineuse in *Traité de Physiologie normale et pathologique*. (Masson, éd., 1932).
- WALTER. — Angéiopter à mono-commande rapide. (*Gazette des Hôpitaux*, 13 septembre 1931).
- Note pour la mesure des pressions moyenne, maxima et minima et pour l'exploration vasculaire des jambes. (*Revue génér. de Clinique et de Thérap.*, 21 novembre 1931).
- WEISS (M.). — Principes généraux d'hydrostatique et d'hydrodynamique (in *Traité de Physique biologique de d'Arsonval, Gariel, Chauveau et Marey*), Masson, 1901, p. 288 sq.).

- WOLFF (E.-K.). — Über die Elastica der grossen Arterien. (*Virchows Archiv.*, 1930).
- WRIGHT (Samson) et KREMER. — Studies on the circulation rate in man. Critical examination of ethyl iodide method. (*Amer. J. Physiol.*, LXIV, 107-122, 1927).
- WUNDT (W.). — Traité élémentaire de Physique Médicale. (Traduction française de F. Monoyer, J. B. Bailliére 1884, p. 156 sq.).
- WYBAUW (R.). — Quelques aspects du problème de l'hypertension. (*Presse Médicale*, 8 février 1933).

Y

- YERNAUX (R.). — Observations relatives à la microsphymie dans l'hypertension. (*Archives internationales de Médecine expérimentale de Liège*, vol. III, fasc. 2, août 1927).

Z

- ZADEK (J.). — Die Messung des Blutdruckes am Menschen mittels des Basch'sen Apparates. (*Zeitschrift für Klinische Medizin* 1881, Bd II, S. 509).
-

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
CHAPITRE PREMIER. — <i>Aperçu historique et position du sujet</i>	7
Les précurseurs	8
Marey	9
De Marey à Pachon	10
Pachon	11
De Pachon à Vaquez	13
Vaquez	13
CHAPITRE II. — <i>Définitions et signification physique de la pression artérielle moyenne</i>	17
Etude critique	17
Expérimentation	34
Conclusion	53
CHAPITRE III. — <i>Les procédés de mesure et les appareils</i>	55
Les procédés directs immédiats	57
Les procédés directs médiats par ponction de veine	59
Les procédés directs médiats par compression..	65
Les procédés indirects par le calcul.....	67
Le procédé indirect par l'auscultation.....	70
Le procédé indirect par l'oscillographie.....	71
CHAPITRE IV. — <i>Sur le repérage oscillométrique de la pression artérielle moyenne</i>	75
Les faits	75
Les interprétations admises	78
La critique	79

Interprétation personnelle	88
L'expérimentation	93
Discussion générale	122
Théorie de l'oscillogramme	129
Conclusion	139
CHAPITRE V. — <i>Les applications de la tension artérielle moyenne en clinique</i>	143
CONCLUSIONS	163
INDEX BIBLIOGRAPHIQUE	167

Vu : *Le Doyen*,
E. LEBLANC.

Vu : *Le Président du Jury*,
F. PORTES.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Alger, le 11 Mai 1934.

Le Recteur,
E. HARDY.

